

# **OPINNÄYTETYÖ**

**Risto Kotavuopio 2011**

## **Maalämpö ja aurinkojärjestelmien suunnittelutarkastelu**



**Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences

**Kone- ja tuotantotekniikka**

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Talo- ja energiatekniikka

Opinnäytetyö

## **Maalämpö- ja aurinkojärjestelmien suunnittelutarkastelu**

Risto Kotavuopio

2011

Rovaniemen ammattikorkeakoulu

Ohjaaja Petri Kuisma

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2011 \_\_\_\_\_

Työ on kirjastossa lainattavissa.

## SISÄLLYS

<b>OPINNÄYTETYÖ.....</b>	<b>1</b>
<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. KOHTEEN ESITTELY .....</b>	<b>8</b>
2.1. RAKENNUS- JA TALOTEKNIIKAN OPPIMISYMPÄRISTÖ.....	8
<b>3. AURINKO .....</b>	<b>9</b>
3.1. AURINKOLÄMMITYS SUOMESSA .....	10
<b>4. AURINKOLÄMPÖ .....</b>	<b>11</b>
4.1. AURINKOKERÄIMET.....	11
4.2. TASOKERÄIMET .....	11
4.3. TYHJIÖPUTKIKERÄIMET .....	12
4.4. LÄMMÖNSIIRTÄMINEN .....	14
<b>5. AURINKOJÄRJESTELMÄ.....</b>	<b>16</b>
5.1. SJOITUS.....	16
5.2. SIJAINTI .....	16
5.3. SUUNTAUS.....	16
5.4. SEURANTALAITTEET.....	18
<b>6. AURINKOSÄHKÖ .....</b>	<b>19</b>
6.1. YLEISTÄ.....	19
6.2. AURINKOPANEELIT.....	19
6.3. AURINKOSÄHKÖLAITTEISTO.....	22
6.4. MATARENKI LIGHT .....	23
<b>7. AURINKOLÄMMÖN JA MAALÄMMÖN YHDISTÄMINEN .....</b>	<b>25</b>
<b>8. LÄMPÖPUMPUT.....</b>	<b>27</b>
8.1. YLEISTÄ.....	27
8.2. MAALÄMPÖPUMPPU .....	27
8.3. MAAPERÄ LÄMMÖNLÄHTENÄ.....	28
KUVIO 8. MAALÄMPÖPUMPPU LÄMMÖNLÄHTENÄ MAAPIIRI .....	28
8.4. PORAKAIVO LÄMMÖNLÄHTENÄ .....	29
<b>9. MAALÄMPÖ .....</b>	<b>31</b>
9.1. MAALÄMPÖPUMPUN PERUSTELUT.....	31
9.2. MAALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA .....	31
<b>10. AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN MITOITUS .....</b>	<b>34</b>
10.1. ROTH SOLAR MITOITUS.....	34
<b>11. AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN MITOITUS .....</b>	<b>41</b>
11.1. VIESSMANN.....	41
11.2. VIESMANN ESOP NA 4.0 .....	48
<b>12. MAALÄMPÖPUMPUN MITOITUS.....</b>	<b>50</b>
12.1. VUOTUINEN LÄMMITYSENERGIAANTARVE .....	53
12.2. MAALÄMPÖKAIVON MITOITUS .....	56
<b>13. JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>58</b>
<b>14. LÄHTEET: .....</b>	<b>61</b>
<b>15. LIITTEET.....</b>	<b>63</b>

## TAULUKKO- JA KUVIOLUTTELO

Kuvio 1. Leikkauskuva tasokeräimestä Vitosol 300 F.....	10
Kuvio 2. Tyhjiöputkikeräimen leikkauskuva Vitosol 300-T (Viesmann,2004).....	11
Kuvio 3. Aurinkopaneelin toiminta.....	19
Kuvio 4. Aurinkosähkön siirto.....	19
Kuvio 5. Tutkimuslaboratorio aurinkosähkön tutkimiseen ja kehittämiseen.....	20
Kuvio 6. Matarenki Light periaatekuva.....	22
Kuvio 7. Lämpöpumpun ja aurinkokeräimien yhdistäminen samaan varaajaan.....	24
Kuvio 8. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä maapiiri.....	26
Kuvio 9. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä porakaivo.....	27
Kuvio 10. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä vesistö.....	28
Kuvio 11. Yksinkertaistettu maalämpöpumpun toimintaperiaate.....	31
Kuvio 12. Aurinkopaneelien painehäviöt.....	32
Kuvio 13. Aurinkolämpöyksikön painehäviö.....	35
Kuvio 14. Painehäviö putkijohdoissa.....	35
Kuvio 15. Tekniset ominaisuudet aurinkokeräimille.....	36
Kuvio 16. Roth Solar järjestelmä lämpimän käyttöveden lämmitykseen.....	38
Kuvio 17. Aurinkopaneelien hyötysuhde eri lämpötilaeroilla.....	39
Kuvio 18. Aurinkolämpöjärjestelmän meno- ja paluuputken virtausvastus (putkimetriä kohden).....	43
Kuvio 19. Virtausvastus.....	44
Kuvio 20. Excel, lineaarinen.....	44
Kuvio 21. ESOP NA – ohjelmasta saatavat diagrammien piirtovaihtoehdot.....	47
Kuvio 22. Ulkolämpötilat, astepäiväluvut ja auringonsäteily eri vyöhykkeillä.....	50
Kuvio 23. Maalämpöpumpun mitoitus-teho.....	52
Kuvio 24. Maalämpöpumpun mitoitusosuudet ja niillä saatava energiaosuus.....	53
Taulukko 1. Säteily / vrk eri kallistuskulmilla, suuntaus Helsingissä etelään ilman varjostuksia.....	15
Taulukko 2 Tarvittavan glykolimäärän laskenta.....	37
Taulukko 3. Järjestelmän nestetilavuuden laajeneminen.....	38
Taulukko 4. Paneelientilan tilavuusvirta.....	42
Taulukko 5. Lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin.....	55

<b>Tekijä</b>	Risto Kotavuopio	<b>Vuosi</b>	2011
<b>Toimeksiantaja</b>	Rovaniemen ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Maalämpö- ja aurinkojärjestelmien suunnittelutarkastelu		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	63 + 4		

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella maalämpö- ja aurinkoenergiajärjestelmät. Kohteena oli Rovaniemen koulutuskuntayhtymän rakennuttama koulutus- ja hyvinvointikeskus (Levi-Test house). Tavoitteena oli saada selkeä lopputulos, jotta sitä pystytään vertailemaan asennettuihin tuotteisiin. Opinnäytetyön tarkoituksena on olla suuntaa antava suunnittelutarkastelu, josta saadaan selville laitteistojen kokonaisuudet ja niiden kokoluokka.

Opinnäytetyö oli tutkinnallinen opinnäytetyö, jossa pyrittiin saamaan luotettavia tuloksia. Menetelminä opinnäytetyössä käytin kirjallista aineistoa. Työhön ei sisällynyt teknistä osuutta vaan työ oli täysin teoreettinen. Tarvittavat kaavat ja laskentamenetelmät sain kirjallisuudesta, joiden mukaan mitoitus tapahtui.

Opinnäytetyön teorian osuudessa käytiin läpi maalämpö-, aurinkolämpö- ja aurinkoenergiajärjestelmien toimintaperiaatteet ja mitoittamisessa huomioitavat asiat.

Tuloksina sain maalämpöpumpun mitoitusosuuden, tehon, vaadittavan vuotuisen lämmitystehon ja porakaivon syvyyden. Aurinkoenergian tuloksista saatiin vuotuinen käyttöveden lämmityksen tarve ja vaadittavat keräinpinnat, joilla saadaan lämmintä käyttövettä tarpeeksi.

Mitoitin aurinkoenergiailaitteiston kahden eri valmistajan tavoilla ja tulokset olivat hieman poikkeavat laskentamenetelmistä johtuen. Maalämpöpumpun mitoitus tehtiin kaavoilla, joita yleisesti oli saatavilla.

**Avainsana(t)** Maalämpö, Aurinkosähkö, Aurinkolämpö, mitoittaminen

**Muita tietoja**



Production and  
mechanical degree  
programme

House and energy  
technology degree  
programme

Abstract of Thesis

---

<b>Author</b>	Risto Kotavuopio	Year	2011
<b>Commissioned by</b>	Rovaniemi University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	Geothermal and solar energy solution planning		
<b>Number of pages</b>	63 + 4		

---

The aim of this Bachelor's thesis was to plan geothermal energy and solar energy systems. The objective of this thesis was the building (Levi- Test House) which is built by the Rovaniemi Region Joint Authority for Education. In this Bachelor's thesis the main objective was creative planning which can be used afterwards to see the whole installation and its size.

The aim in this Bachelor's thesis was to make reliable conclusions. In the beginning the collected theory and literature was studied. With the help of this material planning was made. The final conclusions were made on the basis of the material.

As a result of the study useful information was acquired about planning geothermal energy and solar energy solutions. The results of planning the geothermal heat pump and the geothermal well helped to count the power of the geothermal pump and the depth of the geothermal well and the need of heating. The results of the planning solar energy systems helped to count the solar energy panel area and the need of hot water for use.

The solar energy installation was planned according to the instructions of two manufacturers. There was a minor deviation in the results. The geothermal pump was planned according to formulas which were in the material.

Key words                      Bachelor's thesis, geothermal, photovoltage, solar  
heat, planning

Special remarks

## 1. JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään maalämpö- ja aurinkojärjestelmien suunnittelemista ja mitoittamista. Työn on tarkoitus olla suuntaa antava. Tästä työstä saadaan alustavat arvot järjestelmille ja näitä arvoja voidaan käyttää apuna hankittaessa maalämpö – ja aurinkojärjestelmiä kohteeseen.

Tämän työn kohteena oleva koulutus- ja hyvinvointikeskus sijaitsee Kittilässä. Rakennuttajana, tilaajana ja käyttäjänä on Rovaniemen koulutus kuntayhtymä. Hankkeen tavoitteena on rakentaa kattava mittausteknologian kesku kylmiin olosuhteisiin. Tässä hankkeessa on mukana suuria yrityksiä, korkeakouluja ja yliopistoja, jotka ovat kiinnostuneita kehittämään osaamistaan ja käyttämään oppimisympäristöä opetuksessa projektitöiden ja opinnäytteiden osalta.

Kiinteistön lämmitykseen käytetään maalämpöpumppua, joka on mitoitettu vuotuiselle energiantarpeelle. Kohteeseen asennetaan myös aurinkolaitteisto. Aurinkolaitteistolla on tarkoitus olla tukemassa maalämpöpumppua käyttöveden osalta. Aurinkoenergiaa on pohjoisilla leveysasteilla saatavavilla rajoitetusti kylmimpinä talvikuukausina jolloin aurinkolämpöjärjestelmällä ei ole mahdollista tuottaa lämmintä käyttövettä vuoden ympäri.

Aurinkoenergialla on mahdollista hoitaa kesäaikaan mahdollisesti koko käyttöveden lämmitys ja tällöin maalämpöpumppu jää vähäiselle käytölle kesäaikaan. Kohteessa on tarkoitus myös kokeilla aurinkopaneeleilla sähkön tuottamista auringon säteilystä. Aurinkosähkön tuotossa on myös samat ongelmat kuin aurinkolämmössä. Näitä järjestelmiä voidaan käyttää vain tukemassa pääjärjestelmiä. Aurinkoenergiajärjestelmät ovat kokeiluluontoisia ja näiden järjestelmien avulla saadaan selville todellisia arvoja vuotuisesta aurinkoenergian määrästä, joka saadaan hyödyksi lämpönä tai sähkönä

## **1. Kohteen esittely**

### **1.1. Rakennus- ja talotekniikan oppimisympäristö**

Rovaniemen koulutuskuntayhtymä on suunnittelemassa koulutus- ja hyvinvointikeskuksen rakentamista Leville. Koulutuskuntayhtymän keskuksen rakennetaan oppimisympäristö energiatehokkuuden ja rakennustekniikan opiskeluun. Kohteessa selvitetään mm. kylmärakentamista, energiansäästöä ja vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttämistä.

Rovaniemen koulutuskuntayhtymän rakentamaan kiinteistöön on tarkoitus rakentaa kattava mittausteknologian keskittymä. Keskittymän tuloksia tullaan hyödyntämään sekä perusopetuksen että ylemmän ammattikorkeakoulu tutkintojen opinnäytetöissä.

Opinnäytetöiden lisäksi Levin testauskeskusta tullaan hyödyntämään perusopetuksessa erilaisissa projekti- ja harjoitustöissä. Keskus mahdollistaa hyvin opetuksen integroinnin T&K- toimintaan. Esimerkiksi eristevalmistajat ja maalämpöpumppuvalmistajat ovat valmiita testaamaan omia tuotteitaan. Oppimisympäristön avulla tullaan lisäämään ammattikorkeakoulun osaamista kylmissä olosuhteissa suoritetuissa testauksissa.

Rovaniemen ammattikorkeakoulussa ei ole tällä hetkellä tarpeellista laitteistoa uusiutuvien energiamuotojen tutkimiseen. Hankkeessa toteutettavat investoinnit mahdollistavat Tutkimus- ja kehittämistoiminnan integroimisen opetukseen. Testauskeskuksen tuomat oppimis- ja kehittämisympäristöt saadaan hankintojen avulla kylmissä olosuhteissa suoritettavien pitkäkestoisten testaamisten osalta riittävään kuntoon.

Kiinteistön käyttöä rakennuksen valmistuttua tullaan suuntaamaan entistä vahvemmin eri tutkimuslaitoksien tarpeisiin. Näin varmistetaan uudentiedon lisääminen ja sen suuntaaminen oppimisympäristön ja maakunnan tarpeisiin. Tämän työn aiheena on maalämpö- ja aurinkolaitteiston suunnittelu kohteeseen.



## 2. AURINKO

Aurinko on yksi tekijöistä, joka luo maapallolle mahdollisuudet elämään. Aurinko lämmittää maapallon oikean lämpöiseksi ja lisäksi lähes kaikki energiamuodot, joita on käytössä, ovat syntyneet auringon vaikutuksesta. Esimerkiksi kaikki fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet auringon vaikutuksesta.

Aurinko on noin 5 miljardia vuotta vanha maapallon suurin energianlähde. Aurinkoa pidetään nykyisin kaasupallona, josta suurin osa on vetyä (75 %) ja heliumia (23 %). Loput kaksi prosenttiyksikköä sisältävät spektrianalyysin mukaan mm. natriumia, rautaa, kalsiumia, magnesiumia, nikkeliä, bariumia, kuparia, typpeä ja hiiltä. Auringossa on meille tuntemattomia yhdisteitä.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin, 2008)

Nykyisissä ydinvoimaloissa toiminta perustuu fissioon, jossa hajotetaan raskaita atomeja sisältävää urania U-235. Auringossa tapahtuu päinvastainen reaktio fuusio. Siinä kaksi vetyatomin ydintä, 2 protonia ja 2 neutronia yhtyvät heliumatomin ytimeksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä vapauttaa yhtä paljon energiaa kuin 27 000 tonnia kivihiiltä eli 180 miljoonaa kWh.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin, 2008.)

Aurinkoenergian potentiaali on valtava. Maapallon pinnalle saapuva vuotuinen säteily määrä on noin 10 000 kertaa suurempi kuin maapallon vuotuinen primäärienergian tarve.

(Koivisto Arto, 2010).

## 2.1. Aurinkolämmitys Suomessa

Suomi on sijainniltaan pohjoinen maa ja siksi Suomessa ei saada yhtä paljon auringonpaistetta kuin esimerkiksi päiväntasaajan seudulla. Sodankylään tulee vuodessa  $807 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Vastaavasti Etelä-Portugalissa olevaan Lissaboniin tulee vuositasolla yli kaksikertainen määrä  $1689 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auringonsäteilyä. Suomessa aurinkoenergian potentiaali on pienempi kuin eteläisimmissä maissa. Aurinkoenergiaa saadaan Suomessakin, ei ehkä yhtä paljon kuin muissa maissa, mutta kuitenkin. Aurinkoenergian potentiaali on valtava ja auringosta saatava energia on täysin ilmaista. Tämän vuoksi aurinkoenergia on varteenotettava uusiutuva energiamuoto Suomessakin. (Viessmann Suunnitteluohjeet, 2004.)

### **3. Aurinkolämpö**

#### **3.1. Aurinkokeräimet**

Aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmät eroavat aikaisemmista lämmitysjärjestelmistä lähinnä siinä, että energian saanti on epäsäännöllistä vuodenajan, sään ja maantieteellisen sijainnin mukaan. Aikaisimmilla järjestelmillä käytetään hyödyksi energiaa, jonka aurinko on ladannut maaperään pitkässä biologisessa prosessissa. Aurinkolämmitysjärjestelmillä otetaan talteen auringosta energiaa, joka siirretään lämpövarastoon, josta se otetaan käyttöön tarvittaessa.

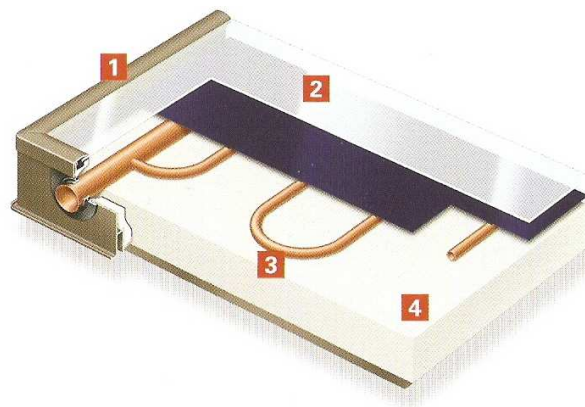
Aurinkokeräimen tehtävänä on kerätä tai vastaanottaa auringonsäteilyä ja muuttaa tämä lämmöksi, joka voidaan kuljettaa keräimestä ilman tai nesteen mukana lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. Auringonsäteilyä lämmöksi muuttavia keräimiä on olemassa sekä nestekiertoisia että ilmakiertoisia. Nestekiertoiset järjestelmät voidaan rajata kahteen päätyyppiin: tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin.

(Viesmann Oy, 2004) (Viessmann Oy, Koivisto, Arto, 2010)

#### **3.2. Tasokeräimet**

Auringonsäteilyä lämmöksi muuttavat keräimet voidaan jakaa joko katettuihin tai kattamattomiin elementteihin. Molemmissa tyypeissä on tasokeräimiä. Tasokeräimissä lämpöä kerätään tumman keräinelementin avulla. Energianmuutos tapahtuu absorptiopinnalla, jossa auringon säteily muuttuu lämpösäteilyksi. Absorbointi mahdollisuuksia voidaan parantaa käyttämällä tasokeräimen lasina vähärautaista selektiivistä lasia, joka luovuttaa mahdollisimman vähän lämpösäteilyä takaisin ympäristöön. Pinnoite absorboi tehokkaasti lyhytaaltoista säteilyä (aallonpituus 0,3-2  $\mu\text{m}$ ) ja säteilee takaisin huonosti pitkäaaltoista säteilyä (aallonpituus (4-25  $\mu\text{m}$ )). Keräimen hyötysuhde kasvaa, kun se ei luovuta ympäristöön lämpöenergiaa. Tyypillisiä pintoja ovat elektrolyyttisesti valmistetut mustakromi- ja mustanikkelpinnat sekä erilaiset tyhjiötekniikkakeinoin valmistetut pinnat.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin s. 72–75, 2008).



Vitosol 300-F

- 1 All-round folded aluminium frame, available in all RAL colours
- 2 Stable, highly transparent cover made from special glass
- 3 Meander absorber
- 4 Highly effective thermal insulation

Kuvio 1 Leikkauskuva tasokeräimestä Vitosol 300-F (Viesmann, 2004)

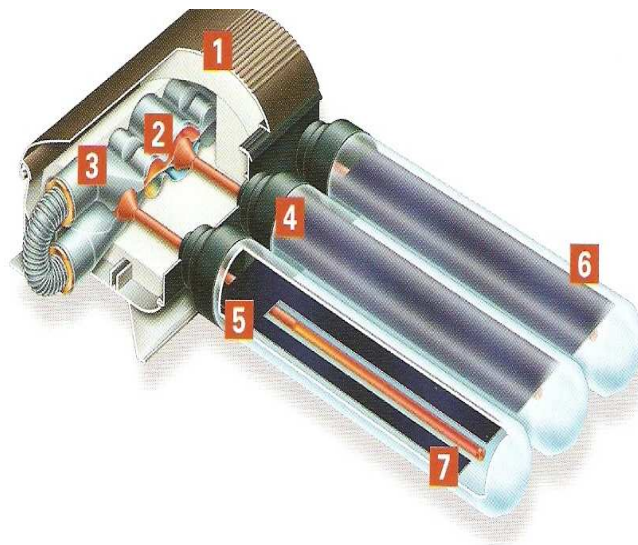
### 3.3. Tyhjiöputkikeräimet

Tasokeräimillä ei ole järkevää pyrkiä kovin suuriin toimintalämpöihin, koska keräimien lämpöhäviöt lisääntyvät. Merkittävin häviö on konvektion avulla tapahtuva lämmönsiirtymisen lisääntyminen absorbaattoripinnasta katelasiin ja keräimen kehyksiin. Tyhjiöputkikeräimistä on ilma poistettu lähes kokonaan, jolloin konvektion osuus laskee jyrkästi ja keräimen hyötysyhyde säilyy hyvänä korkeissakin lämpötiloissa.

Tyhjiöputkikeräimet voidaan jakaa lämmönsiirtämisen avulla kahteen alatyypin:

- Läpivirtausperiaatteella tapahtuva lämmönsiirto.
- Lämpöputken (heat pipe) avulla tapahtuva lämmönsiirto.

Läpivirtausperiaatteella toimivissa tyhjiöputkikeräimissä neste virtaa joko u-muotoisessa putkessa tai sisäkkäin olevista putkista muodostetussa koaksiaaliputkessa. Yksilasisessa tyhjiöputkessa nesteputkeen kiinnitetty absorbaattorilevy on yleensä levymäinen ja sijaitsee putken sisällä olevassa tyhjiössä. Lämmönsiirtoputkistoliitokset ovat putken yläosassa ja ne ovat yleensä helposti avattavia, jolloin keräimen yksittäisiä tyhjiöputkia on mahdollista vaihtaa helposti niiden mahdollisesti rikkoontuessa.



Vitosol 300-T

- 1 Highly effective thermal insulation
- 2 "Dry" connection, no direct contact between process and heat transfer medium
- 3 Duotec twin pipe heat exchanger
- 4 Tubes are easy to replace and rotate
- 5 Highly selectively coated absorber
- 6 High grade, low ferrous glass
- 7 Heat pipe

Kuvio 2. Tyhjiöputkikeräimen leikkauskuva Vitosol 300-T (Viesmann, 2004)

Kaksilasisessa tyhjiöputkessa absorbaattoriin yhteydessä oleva lämmönsiirtolevy on sylinterimäinen ja se on kosketuksissa sisemmässä lasissa olevaan absorbaattoripintaan. Tällöin absorbaattorilevy ja lämmönsiirtoputki eivät ole tyhjiössä. Tyhjiö on ulomman ja sisemmän lasisylinterin välissä. Sisemmässä lasissa olevasta absorbaattoripinnasta lämpö siirtyy johtumalla sylinterimäiseen metallipintaan, joka on kiinnitetty lämmönsiirtoputkeen. Koska tyhjiö on lasien välissä, ovat kaksilasiset tyhjiöputkikeräimet ylhäältä avoimia, jolloin ne voidaan vaihtaa koskematta lämmönsiirtoputkiston liitoksiin.

Tyhjiöputki voi olla joka yksinkertainen tai kaksinkertainen. Tyhjiöputkea voidaan käyttää myös keskittämissä keräämissä, joissa koverilla, heijastavilla pinnoilla lisätään tyhjiöputken absorbaattoripintaan tulevaa säteilyä. Tyhjiön käyttöä tasokeräimien yhteydessä on myös käytetty. Se edellyttää katelasin tukemista absorbaattoripinnan läpi nousevilla putkisauvoilla.

Tyhjiöputki eroaa tasokeräimestä pääosin seuraavissa kohdissa:

- Tyhjiöputken absorptiopinta on putkimaisessa muodossa eikä suorana levynä kuten tasokeräimessä.

- Lasiputken tyhjiö toimii lämmöneristeenä ja estää siten absorboitua lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan, jolloin suurempi osa lämmöstä jää keräimeen.

Tämän takia lämmöntuotto tyhjiöputkikeräimissä voi varsinkin kylmillä keleillä olla korkeampi kuin tasokeräimissä, joista lämpöä pääsee enemmän karkuun. Tosin lämpiminä vuodenaikoina kuten kesällä taso- ja tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotoissa ei ole suuria eroja.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin s. 81–82, 2008.)

### 3.4. Lämmönsiirtäminen

Lämmönsiirtämisen perusteella tasokeräimiä on kahdenlaisia: nestekiertoisia ja ilmakiertoisia.

Ilmakiertoisissa tasokeräimissä lämpö siirretään ilman avulla käyttökohteisiin ja/tai lämpövaraajaan. Ilman lämmönsiirtokyky ja ominaislämpökapasiteetti ovat huonompia kuin nesteen, jolloin ilmasiirtoiselta järjestelmältä vaaditaan suurempia kanavia, sillä ilman ja veden virtausnopeudet ovat samat. Kun ilman avulla siirretään sama energiamäärä kuin veden avulla tarvitaan noin 4000 kertaa suurempi ilmamäärä.

Konvektiohäviöitä, joissa lämmin ilma nousee absorptioelementistä katteeseen, voidaan estää imemällä ilmaa päinvastaiseen suuntaan.

Säteilyhäviöitä lämpimästä pinnasta katteeseen estetään samoilla tavoin kuin nestekiertoisissa keräimissä eli selektiivisellä pinnoitteella.

Ilman edut ja haitat nesteeseen verrattuna:

- Ilma ei jäädy eikä aiheita yllämpenemisongelmia.
- Ei ole korroosio-ongelmaa.
- Ilmakeräimet ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia.
- Ilma lämpenee nopeammin.
- Ilma on turvallinen vuotojen sattuessa.
- Lämpökapasiteetti on alhainen.
- Säädettyvyys on vaikeampaa.
- Soveltuu huonommin lämpimän käyttöveden ja uima-altaiden lämmitykseen.

Nestekiertoisissa keräimissä siirtoaineena toimii vesi. Jos järjestelmä on ympärivuotisessa käytössä käytetään glykoli - vesiseosta jäätymisen estämiseksi. Vesi-glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetti, ja pumpattavuus ovat huonompia kuin pelkällä vedellä, mutta vettä ei voi käyttää ympärivuotisessa järjestelmissä sen jäätymisen vuoksi. Vesi-glykoliseoksella on alhaisempi jäätymispiste ja korkeampi kiehumislämpötila kuin vedellä.

Nestekiertoisissa aurinkokeräimissä pyritään yleensä pieneen alle 1 litraa/m<sup>2</sup> nestetilavuuteen. Käyttöpaine riippuu järjestelmän rakenteista mutta nestekiertoisissa paine sijoittuu 0,3-3 baarin välille. Lisäksi on käytössä high-flow ja low-flow käytännöt, jotka viittaavat nesteen virtausnopeuksiin. Low-Flow -käytäntöä pienellä läpivirtauksella käytetään yleensä suurissa järjestelmissä (yli 20 m<sup>2</sup> keräinpinta-ala) , joissa ominaistilavuusvirtaa voidaan pienentää jopa 15 l/m<sup>3</sup>\*h. Lisäksi muita hyötyjä tästä käytännöstä:

- Saavutetaan nopeasti korkea keräinpiirin lämpötila.
- Vähäisen keräinpiirin tilavuusvirran ansiosta tarvitaan pienempiä putkimittoja.
- Vaaditaan vähäisempää pumpun tehoa.

High Flow-käyttöä suurella läpivirtauksella käytetään pienemmissä järjestelmissä (alle 20 m<sup>2</sup> keräinpinta-alaa) High Flow käytön edut ja haitat:

- Menoputken ja paluuputken lämpötilaero pysyy vähäisenä.
- Suurempi läpivirtaus vaatii suurempia putkien läpimittoja.

(Viessmann mitoitusohje s.42)

Nestekiertoisten kerääjien hyvät puolet

- Nesteellä (vedellä) on korkea ominaislämpökapasiteetti.
- Lämpöä voi nesteen avulla siirtää helposti lämpövaraajaan.
- Laitos on hyvin säädettävissä.
- Nestekiertoiset laitokset soveltuvat kaikkiin käyttötarkoituksiin.

(Viessmann 2004; Roth Solar - esite,2010)

## **4. Aurinkojärjestelmä**

### **4.1. Sijoitus**

Aurinkolämpöjärjestelmällä on mahdollista saada paneelien asennuskulmasta ja suuntauksesta riippuen vuositason käyttöveden lämmitykseen noin 60 % kokonaistarpeesta.

Aurinkolämpöjärjestelmien valmistajia on useita ja eri valmistajilla on hieman erilaiset mitoitusperusteet.

Laitteiston optimaaliseen kulmaan vaikuttavat kaksi eri kulmaa.

Kallistuskulma, joka on vaakatason ja laitetasen välinen kulma ja atsimulaattikulma, joka määrittää siten, että suuntaus etelään on  $0^\circ$ , länteen  $+90^\circ$  ja itään  $-90^\circ$ . Kun maapallo pyörii akselinsa ympäri, aurinko näyttää siirtyvän taivaalla ja sisään tuleva säteily osuu laitteeseen jatkuvasti eri kulmassa. Sisään tulevan säteilyn ja laitteen pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Kun säteily osuu kohtisuoraan laitteen pintaan tulokulma on  $0^\circ$ . Tämä on aurinkosähköpaneelin paras mahdollinen tulokulma. (Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin s.13–14)

### **4.2. Sijainti**

Laite ja etenkin aurinkosähköpaneelit tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan. Koko paneelin tai paneeliston pitäisi saada tasaisesti säteilyä. Varsinkin talvella, kun aurinko on Suomessa alhaalla ja varjot pitempiä kuin kesällä, paneelien sijainti vaikuttaa ratkaisevasti energian tuottoon. Mitä korkeammalla, ylempänä ja kauempana lähimmästä puusta tai muusta esteestä aurinkopaneelit sijaitsevat sitä enemmän ne voivat tuottaa energiaa.

### **4.3. Suuntaus**

Aurinkosähköpaneelien kennojen sarjakytkentöjen takia mikään kenno ei saa jäädä varjoon. Se ehkäisisi täydellisen virrankulun paneelissa. Jos varjostuksia ei kokonaan pystytä estämään täytyy järjestelmän paneelipinta-alaa suurentaa, jotta se tuottaisi tarvittavan energiamäärän.

Kiinteästi asennettava aurinkoenergiajärjestelmä suunnataan yleensä etelään eli kohti päiväntasaajaa. Jos edessä on esimerkiksi varjostava talo,



voidaan järjestelmä suunnata länteen tai itään. Tällöin kuitenkin energiantuotto jää pienemmäksi kuin optimaalisella suuntauksella.

Mikäli järjestelmän kuormitushuippu on aamulla, järjestelmä kannattaa suunnata itään ja länteen jos kuormitushuippu on illalla. Alueella, jossa taivas on tavallisesti kirkas aamupäivällä, järjestelmän voi suunnata kohti aamuaurinkoa. Järjestelmän ympärivuotisen tuoton optimoimiseksi suuntauksen kulma voi vaihdella  $\pm 45^\circ$  etelästä. Tällöin häviöt jäävät noin 7 %:iin. Jos kyse on vain kesäajan optimoisesta, häviöt ovat vielä pienemmät.

Jotta laite antaisi Suomessa optimaalisen tehon talvella, kallistuskulman täytyy olla leveysaste plus  $15 - 20^\circ$  eli käytännössä pystysuoraan. Jos energiantuotto halutaan optimoida kesällä touko-heinäkuussa, kallistuskulman pitää olla pienempi kuin leveysaste. Mitä enemmän laite on vaakatasossa, sitä enemmän siihen osuu aurinkosäteilyä.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin s.15–16, 2008)

Taulukko 1 Säteily / vrk eri kallistuskulmilla, suuntaus Helsingissä etelään ilman varjostuksia ( $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{päivä}$ )

Kuukausi	$30^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$
Tammikuu	0,4	0,5	0,5
Helmikuu	1,5	1,8	1,9
Maaliskuu	3,1	3,4	3,2
Huhtikuu	4,4	4,5	3,4
Toukokuu	5,9	5,7	3,7
Kesäkuu	6,6	6,3	3,9
Heinäkuu	5,7	5,5	3,6
Elokuu	5,0	5,0	3,6
Syyskuu	3,3	3,5	3,0
Lokakuu	1,6	1,8	1,7
Marraskuu	0,5	0,5	0,5
Joulukuu	0,4	0,5	0,6

#### 4.4. Seurantalaitteet

Aurinkoenergialaite asennetaan yleensä kiinteäkulmaisena. Kiinteä asennus on luotettava ja taloudellinen asennustapa, mutta se ei pysty hyödyntämään kaikkea sisään tulevaa säteilyä. Auringon liikkuesssa taivaalla laitteeseen tulevan säteilyn tulokulma on suuri, kun optimi on lähellä  $0^\circ$ .

Seurantalaitteet seuraavat auringon liikettä taivaalla, jotta säteilyn tulokulma pysyisi pienenä. Aurinkoenergialaite tuottaa lisäenergiaa seurantalaitteen liikkeiden mukaan. Markkinoilla on 3 erilaista seurantalaitetyyppiä. :

Kahden akselin seuranta: seurantalaite säätää sekä kallistuskulmaa että suuntaa (atsimuutti) niin, että tulokulma on lähellä  $0^\circ$ .

Atsimuuttiseuranta. Seurantalaite kääntyy vain suunnan mukaan (idästä länteen) ja kallistuskulma pidetään kiinteänä.

Yhden akselin seurantalaite kääntyy ympäri akselinsa, joka on samassa tasossa kuin aurinkoenergialaite. (Viessmann, 2004)

Kahden akselin seurantalaitteen avulla saadaan kerättyä eniten säteilyä. Korkeilla leveyspiireillä atsimuuttiseuranta tuottaa hieman enemmän kuin yhden akselin seuranta. Matalilla leveyspiireillä taas yhden akselin seuranta tuottaa enemmän. Päivän lyhyiden takia seurantalaite ei juuri tehosta säteilyn keräämistä talviaikaan.

Seurantalaite voi kesällä nostaa teoreettisesti tuottoa jopa 30–60 %. Yleensä kuitenkin seurantalaite vaatii toimiakseen energiaa ja enemmän huoltoa kuin esimerkiksi aurinkosähköpaneelit. Käytännössä kahden akselin seurantalaite tuottaa lisäenergiaa noin 30 %.

(Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin s.17, 2008)

## **5. Aurinkosähkö**

### **5.1. Yleistä**

Aurinkosähkötekniikan avulla voidaan sähköistää kohteita, joissa ei ole toimivaa sähköverkkoa, kuten kesämökit, veneet ja asuntovaunut. Auringon avulla saadaan sähköä riippumatta paikasta. On kuitenkin otettava huomioon se, että aurinko ei paista aina, jolloin täytyy olla mahdollisuus varastoida energiaa esimerkiksi akustoihin tai käyttää toista järjestelmää sähkön tuottamiseen. Tämä on erityisesti Suomessa ongelmana aurinkosähkösovelluksissa.

Aurinkosähkö tarjoaa mahdollisuuden käyttää sitä lisäenergianlähteenä silloin kun auringonenergiaa on saatavilla. Suomessa aurinkosähköä voidaan käyttää hyödyksi parhaiten kesäaikaan, jolloin aurinko paistaa paljon. Kesäaikaan voidaan hoitaa esimerkiksi tarvittava valaistus auringon energialla.

Aurinkosähköjärjestelmän tehonlähteenä toimii aurinkopaneelisto, jonka avulla auringon säteilyenergia muutetaan sähköksi. Järjestelmään kuuluu yleensä myös akusto, jonne voidaan syöttää ylimääräinen energia, jota ei sillä hetkellä tarvita. Akustosta saadaan tarvittaessa sähköä ja lisäksi se toimii jännitepiikkien tasaajana. Aurinkojärjestelmästä saatava sähköenergia on tasasähköä. Suurin osa kodin laitteista toimii kuitenkin vaihtosähköllä, jolloin tasasähkö on muunnettava vaihtosuuntaajan avulla vaihtosähköksi.

( aurinko-opas s.116–117)

### **5.2. Aurinkopaneelit**

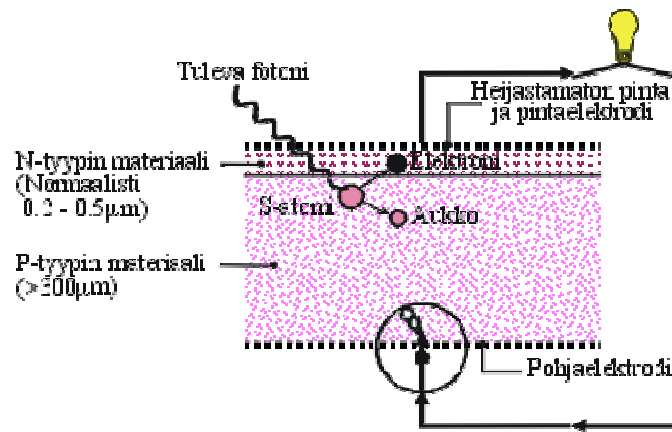
Aurinkopaneelien valmistukseen käytetään puolijohteista eniten piitä. Puhdistetun piin kiderakenne on kuutiollinen. Pii-atomin uloimmalla radalla olevilla elektroneilla on tarkka paikka kiderakenteessa, jolloin vapaita elektroneja ei ole. Seostamaton pii on huono johde. Piitä voidaan käyttää, kun siihen on lisätty pieniä määriä jotain muuta alkuainetta. Lisäämällä piihin fosforia saadaan aikaan kiderakenne, jossa kaikilla elektroneilla ei ole vapaata paikkaa. Näitä elektroneja kutsutaan negatiivisiksi eli N-tyypin varauksen kuljettajiksi. Fosforilla seostettua piitä kutsutaan N-tyypin piiksi. Kun piitä seostetaan boorilla kiderakenteessa ei ole vapaita elektroneja, vaan

siellä on aukkoja. Puhtaassa piissä olisi elektroneja. Elektronit täyttävät aukon ja jättävät tyhjän aukon edelliselle paikalle. Jokaisella aukolla on positiivinen varaus ja täten boorilla seostettua piitä kutsutaankin P-tyypiksi eli positiiviseksi piiksi. (Kotavuopio Risto, 2008)

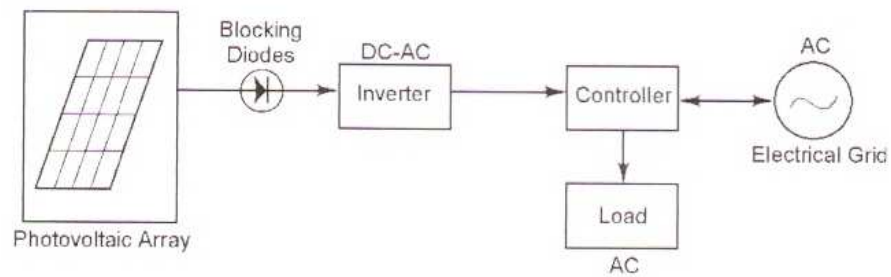
Aurinkokennon toiminnan edellytyksenä on, että kennomateriaalissa on sisäinen sähkökenttä, joka ajaa syntyvät elektronit ja aukot liikkeelle. Kun käytetään N-tyypin piitä ja P-tyypin piitä kennomateriaalina, saadaan niiden liitosrajapintaan syntymään sähkökenttä. Kun fotoni tunkeutuu puolijohdemateriaaliin, se syrjäyttää elektronin pois paikaltaan piin kiderakenteessa. Tällöin syntyy aukko-elektronipari. Hyvin pienen ajan kuluttua elektroni kuitenkin liikkuu takaisin alkuperäiselle paikalleen. Tätä ilmiötä kutsutaan rekombinaatioksi. Aurinkopaneelissa P- ja N-tyypin puolijohdemateriaalien rajalla oleva sähkökenttä vetää syntyneitä aukkoja ja elektroneja erilleen ja näin estää rekombinaation. Elektronit liikkuvat sähkökentän ajamana N-tyypin piikerrokseen ja siitä tulee negatiivinen napa. P-tyypistä tulee vastaavasti positiivinen napa. Näiden välillä on jännite-ero, joka saa aikaan sähkövirran. Aurinkokennon toimintaperiaate on esitetty kuviossa 3.

Aurinkokennoissa syntyvä sähkö siirretään, joko suoraan käyttölaitteille, tai sähkö varataan akustoon. Kuviossa 4 Näkyy yksinkertaistettu periaate aurinkosähköjärjestelmän toiminnasta. Sähkö siirretään kennojen jälkeen yksisuuntaisen diodin läpi muuntimelle, jossa sähkö muunnetaan vaihtovirraksi. Vaihtovirta johdetaan säätimelle, josta se siirretään suoraan käyttölaitteille, akustoon tai valtakunnanverkkoon.

(Energiavaihtoehdot, aurinko, tuuli ja maalämpö, 1981)



Kuvio 3. Aurinkopaneelin toiminta



Kuvio 4. Aurinkosähkön siirto

### 5.3. Aurinkosähkölaitteisto

Levi Test House- hankkeessa on tarkoitus kokeilla ja tutkia aurinkosähkön tuotantoa, jota voidaan aluksi käyttää esimerkiksi valaistuksen hoitamiseen. Tulevaisuudessa voitaneen myös myydä aurinkosähköä valtakunnanverkkoon.

Hankkeesta on kiinnostunut yritys nimeltä Global Sun Engineering. Se on kehittänyt Rovaniemen ammattikorkeakoulun pyynnöstä laitteiston ja laboratorion, joka on rakennettu merikonttiin. Merikonttia voi liikutella, ja arvokas laitteisto pysyy kontin sisällä suojassa säältä ja mahdollisilta varkailta (Kuvio 5).

Aurinkosähkölaboratoriossa osa aurinkopaneeleista on perinteisiä kiinteästi asennettuja sähköä tuottavia aurinkopaneeleja. Lisäksi laitteissa on kaksi Matarenki Light-järjestelmää, jotka tuottavat lämpöä ja sähköä. Laitteistoon on mahdollista asentaa esimerkiksi tuulivoimala, kuten kuviossa 5 näkyy. (<http://www.gsesweden.com>)



Kuvio 5. Tutkimuslaboratorio aurinkosähkön tutkimiseen ja kehittämiseen.

## 5.4. Matarenki Light

Matarenki light koostuu aurinkopaneeleista ja peilioptiikasta. Peilit suunnataan kohti aurinkoa. Peilit keskittävät auringonvalon kohti aurinkokennoja. Peilit on valmistettu auringon valoa hyvin heijastavasta materiaalista (Kuvio 6, kohta 1)

Peilien avulla keskitetty auringonvalo kohtaa aurinkokennon pinnan, jossa osa auringonsäteilystä muuntuu sähköenergiaksi. Auringonsäteily lämmittää aurinkokennon pinnan hyvin kuumaksi. Aurinkokennojen sisällä kulkevat lämmönkeruuputket, joissa kiertävään nesteeseen siirretään lämpöä aurinkokennojen pinnalta. (Kuvio 6, kohta 2)

Auringonvalon seurantalaitteisto seuraa auringon liikkeitä ja liikuttaa järjestelmää aina auringon suuntaan, jolloin saadaan mahdollisimman hyvä tuotto. Järjestelmällä voidaan saada jopa 50 % enemmän auringon valoa verrattuna perinteiseen kiinteästi asennettuun laitteistoon. Seurantalaitteisto helpottaa myös asennusta, koska laitteisto ei vaadi asentamista etelän puoleiselle katolle. (Kuvio 6, kohta 3)

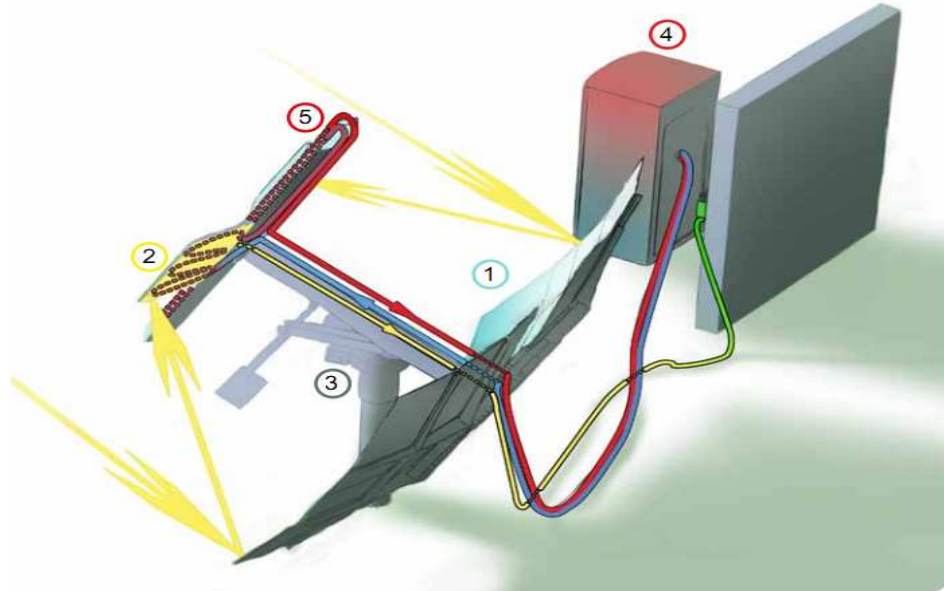
Aurinkokennojen pintaan varautunut lämpö siirretään kennojen sisällä kulkeviin lämmönkeruuputkiin. Kylmä vesi kierrätetään varaajan pohjasta kennojen läpi, jolloin veteen sitoutuu lämpöenergiaa. Lämmennyt vesi kuljetetaan tämän jälkeen jälkilämmittimelle. Jälkilämmittimessä veden lämpötilaa nostetaan edelleen, jonka jälkeen lämpöenergia siirretään varaajaan lämmönvaihtimen avulla. (Kuvio 6, kohdat 4-5)

Perinteiset aurinkojärjestelmät tuottavat ainoastaan sähköä tai lämpöä ja ne ovat yleensä kiinteästi asennettuja. Suurimpana osana päivästä tällaiset järjestelmät eivät saavuta maksimaalista hyötysuhdetta.

Matarenki light- järjestelmä saavuttaa suuremman hyötysuhteen verrattuna perinteiseen aurinkojärjestelmään. Rakennuskustannukset Matarenki Light:lla voivat olla jopa 30 % pienemmät kuin perinteisillä järjestelmillä. Global sun engineering (GSE) keskittyy tuotekehityksessä käyttäjäystävällisyyteen, joka näkyy yksinkertaisena ja helppona asennuksena. Järjestelmä vie vähän tilaa ja on helppo asentaa esimerkiksi puutarhaan.

Matarenki Light:lla on mahdollista tuottaa 1 kW sähköä ja 4 kW lämpöä. Esimerkiksi Teksasissa järjestelmällä on mahdollista tuottaa neljän henkilön kotitalouden tarvitsema lämmin vesi ja osa sähköstä.

(<http://www.gsesweden.com>.)



Kuvio 6. Matarenki Light periaatekuva



## 6. Aurinkolämmön ja maalämmön yhdistäminen

Lämpöpumppulämmitys ja maalämpöpumppujärjestelmä on mahdollista yhdistää. Tarkoituksena oli lämmitysjärjestelmän mitoittamista aloitettaessa, että yhdistetään maalämmön ja aurinkokennojen hyvät puolet. Käytännössä rakennuksen lämmitys hoidetaan maalämpöpumpulla, joka mitoitetaan n.80–95 prosentille koko rakennuksen lämmitystehon tarpeesta. Taloudellisesta ei ole järkevää mitoittaa maalämpöpumppua koko teholle, vaan huipputeho kylmimpien ilmojen aikana tehdään varaajassa olevilla sähkövastuksilla. Huipputehon tarve ei kuitenkaan ole normaalivuotena montaa prosenttia koko vuoden energiantarpeesta.

Jos maalämpöpumppu mitoitettaisiin koko lämmitystarpeelle, se tarkoittaisi sitä, että osittaiseen mitoitukseen verrattuna vaadittaisiin enemmän tehoa kiertopumpulta, suurempaa lämmönkeruupiiriä, jotka lisäisivät investointikuluja ja lisäksi kiertopumppu olisi suurimman osan vuotta liian suuri ja se lisäisi sähkökustannuksia. On siis paljon edullisempaa mitoittaa lämpöpumppu osatehoiseksi ja lämmittää puuttuva määrä sähkövastuksilla.

Aurinkokeräimet kytketään käyttöveden lämmitykseen, koska aurinkokeräimillä ei voi saada Pohjois-Suomessa ympäri vuoden lämpöenergiaa, käytännössä marras-tammikuun välisenä aikana pitää olla jokin muu järjestelmä lämmitysveden lämmitykseen. Tässä kohteessa kiinteistöön asennetaan maalämpöpumppu, jolloin paras ratkaisu on liittää aurinkolämmitysjärjestelmä ja maalämpöpumppujärjestelmä yhteen käyttöveden osalta. Tällöin saadaan käyttövettä ympäri vuoden ja kuitenkin pyritään siihen, että aurinkopaneeleilla lämmitetään niin paljon vettä kuin vain mahdollista ja sitten, kun sen teho ei enää riitä siirrytään käyttämään maalämpöpumpulta saatavaa lämpöä lämmittämään käyttövesi.

Lämpöpumpun yhteydessä tarvitaan varaaja, johon keräinten tuottama energia voidaan viedä myöhempää käyttöä varten. Lämpöpumpuissa on luonnostaan sisäänrakennettu tai erillinen varaaja erityisesti lämpimän käyttöveden saatavuuden turvaamiseksi.

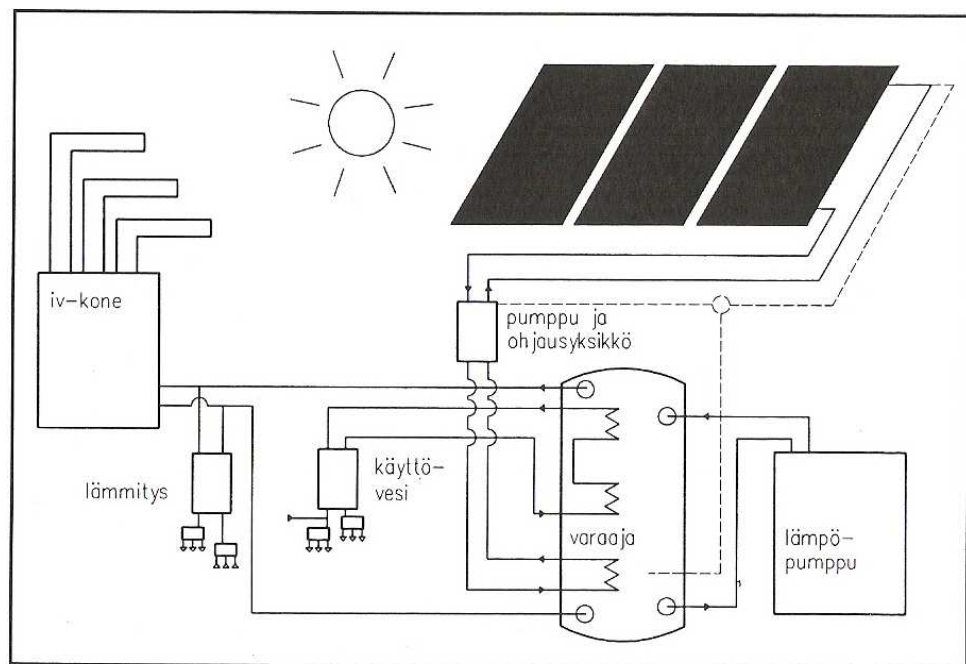
Varaajana voisi toimia periaatteessa myös maaperä, josta maalämpöpumppu ottaa lämpöä. Kesäaikaan kun keräimistä saadaan enemmän lämmitysenergiaa kun tarvitaan, voitaisiin ylimääräinen lämpö varata

maaperään, josta se sitten saataisiin maalämpöpumpun avulla talteen sitä tarvittaessa. Tällaisia järjestelmiä on kokeiltu, mutta ne eivät ole saavuttaneet vakiintunutta asemaa.

Helpoin ja suoraviivaisin tapa on kytkeä aurinkokeräimet lämmönsiirtimen avulla varaajaan. Jos lämpöpumpussa on sisäänrakennettu varaaja, se täytyy erikseen tilata ylimääräisellä kierukalla. Sisäänrakennetut varaajat ovat kuitenkin usein niin pieniä, että niihin ei voi kytkeä useita varaajia.

Erillistä varaajaa käytettäessä menetellään lähes samoin kuin vastaavassa vesikiertoisessa sähkölämmityksessä. Lämpöpumppuun liitettävä varaaja on sellaisenaan varsin sopivan kokoinen palvelemaan myös aurinkokerääjän tarpeita. Tyypillinen varaajan tilavuus omakotitalossa on 700 – 1000 l. Varaaja tulee varustaa ylimääräisellä lämmönvaihtimella.

(Kurth, 2002)



Kuvio 7. Lämpöpumpun ja aurinkokeräimien yhdistäminen samaan varaajaan.

## **7. Lämpöpumput**

### **7.1. Yleistä**

Lämpöpumppuja on olemassa monenlaisia ja moneen eri tarkoitukseen sopivia. Kaikki lämpöpumput hyödyntävät ilmaista energiaa eli sitä energiaa mikä on sitoutunut vesistöihin, maaperään, kallioon tai ilmaan.

Lämpöpumppuja voidaan valita ja mitoittaa siten että se kattaa koko energiatarpeen tai toimii täydentävänä ratkaisuna päälämmitysjärjestelmän lisänä. Kohteesta riippuen lämpöpumpulla saadaan suuriakin energiansäästöjä aikaan kun se oikein mitoitettu ja suunniteltu. Joissakin tapauksissa lämmityskustannuksia voidaan pienentää jopa 75 %.

Lämpöpumput ovat hyvin toimintavarmoja laitteita, jotka eivät vaadi huoltoa eivätkä polttoainetäydennystä.

### **7.2. Maalämpöpumppu**

Maalämpöpumppu joka on varustettu käyttövesivaraajalla, jossa kesällä varastoituneen aurinkolämmön keruu tapahtuu maahan, kallioon tai vesistöön upotetussa muoviputkistossa kiertävälle jäätymättömälle liuokselle (yleensä glykolipohjainen liuos) höyrystin-lämmönsiirtimelle, jossa lämpö siirretään kylmäaineeseen. Kylmäaineesta lämpöenergiaa luovutetaan ensin höyrynjäähdytin-lämmönsiirtimessä lämpimän käyttöveden kuumentamiseen varaajaan ja sen jälkeen lauhdutin-lämmönsiirtimessä vesikiertoiseen, mieluiten matalalämpöiseen lattialämmitysjärjestelmään ja/tai käyttöveteen.

Maalämpöpumpun etuna ovat alhaiset käyttökustannukset. Vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä on pitkäikäinen ja joustava järjestelmä, joka mahdollistaa tarvittaessa muidenkin lämmitysjärjestelmien käytön. Maapiiriä voidaan tarvittaessa käyttää kesäaikana rakennuksen tuloilman jäähdyttämiseen suhteellisen helposti ja edullisesti kytkemällä tuloilmakanavaan asennettu patteri liuospiiriin ja kierrättämällä maapiiriä tuloilmapatterin kautta. Maalämpöpumpun haittapuolena ovat suhteellisen suuret perusinvestointikustannukset, joten aivan pienten (110 - 120 m<sup>2</sup>) ja matalaenergialojen kyseessä ollessa järjestelmän takaisinmaksuaika on suhteellisen pitkä noin 10–15 vuotta. Mitä suurempi talo ja energiankulutus ovat, sitä kannattavampi investointi on. Keskimäärin vuositason

lämpökertoimet ovat 2,6 -3,6.

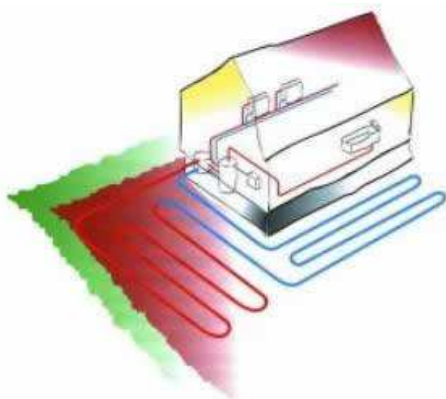
Maalämpöpumppu ja porakaivot lämmönlähteenä on hyvä lämmöntuottaja myös suuriin kiinteistöihin, kuten majoitustiloihin, liikekiinteistöihin tai teollisuustiloihin, joita lämmitetään lattialämmityksellä ja/tai ilmalämmityksellä. Tällöin on järkevää kytkeä useita lämpöpumppuja toimimaan vuorottelu ja/tai rinnan lämmöntarpeesta riippuen.

### 7.3. Maaperä lämmönlähteenä

Maalämpö on aurinkoenergiaa samalla tavalla kuin vesi-, puu-, turve-, tuuli-, hiili- tai suora aurinkoenergiakin. Auringosta saadaan lämpöenergiaa kesäaikana ja sitä varastoituu maa- ja kallioperään sekä vesistöihin auringonpaisteen, lämpimän ilman ja sateiden kautta. Talvella auringon lämmittävä vaikutus on pohjoisilla leveysasteillamme niin vähäistä, että on turvauduttava varastoituneeseen aurinkolämpöön.

Tutkimusten mukaan noin 3 prosentin osuus vuosittaisesta auringon maahan varastoituvasta energiasta riittää vuotuisen lämmöntarpeen kattamiseen maalämmöllä. Maalämpö on kokemuksen mukaan varma, tasainen ja luotettava lämmönlähde ympäri vuoden.

(<http://www.sulpu.fi>).



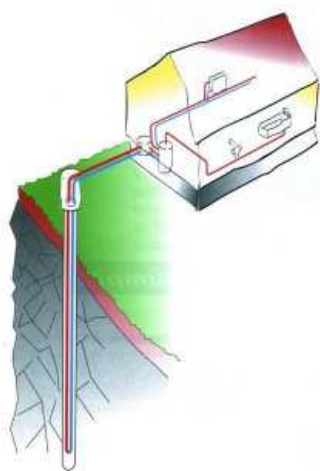
Kuvio 8. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä maapiiri (Sulpu ry).

#### 7.4. Porakaivo lämmönlähteenä

Porakaivoja voidaan käyttää lämmönkeruupiirin lähteenä kahdella tavalla. Suljettuna järjestelmänä tai avoimena järjestelmänä. Yleisin järjestelmä nykyään on kuitenkin suljettu järjestelmä.

**Suljetuissa järjestelmissä** on viime aikoina saatujen kokemusten myötä on yleistynyt menetelmä, jossa maalämpöpumpun lämmönlähteenä käytetään rakennuksen viereen porattua porakaivoa siten, että porakaivoon upotetaan liki pohjaan saakka ulottuva muoviputkikilenkki maaputkipiiriin sijaan. Tällä menetelmällä on etuina se, että porakaivon energiasaanti parempi, noin kaksinkertainen putkimetriä kohti verrattuna maapiiriin, lisäksi vältetään mittavilta kaivaustöiltä tontilla ja saadaan pitkäikäinen, toimintavarma, routimaton ja helposti ilmattava järjestelmä.

Porakaivo on yleisin vaihtoehto kun lämpöpumppu asennetaan jo olemassa olevaan järjestelmään lämmönlähteeksi. Maapiiri vaatii suuret maatyöt ja uudelleen maisemoinnin tontille ja on tämän takia työläämpi vaihtoehto kuin porakaivo. Porakaivoa voidaan hyödyntää myös esimerkiksi puutarhan kasteluveden pumppaamiseen kaivosta. Porakaivon haittapuolena on merkittävästi korkeampi hinta. (<http://www.sulpu.fi>)

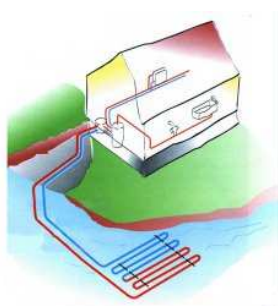


Kuvio 9. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä porakaivo (Sulpu ry).

**Avoimessa järjestelmässä** pohjavettä pumpataan porakaivosta lämmönsiirtimeen, jossa lämpö siirretään yleensä jäätymättömän väliainepiirin avulla höyrystimelle ja jäähtynyt, n.  $+0,5 - +1,0$  °C lämpötilassa oleva vesi palautetaan lähistöllä olevaan porakaivoon tai vesistöön.

Järjestelmä on käyttökelpoisempi suurissa laitoksissa, joissa voidaan ottaa talteen lämpöä esimerkiksi alhaisessa lämpötilassa olevasta hukkalämmön lähteestä. Pientalojen lämpöpumppujärjestelmissä tällaiset järjestelmät eivät ole yleisiä

**Vesistöjen käyttöön lämmönlähteenä** soveltuvat kaikki joet, järvet, lammet ja meret, joilla on syvyyttä vähintään kaksi metriä. Käyttöön soveltuu muuten sama tekniikka kuin maalämpöputkistonkin käytössä, mutta lämmönkeruuputket täytyy ankkuroida vesistön pohjaan putkiin kiinnitettävillä 5-10 kg betonipainoilla. Ankkurointi tehdään vesistöissä oleviin lämmönkeruuputkistoihin sen vuoksi, että putkisto ei nouse pintajään alle ja jäädy siihen kiinni, jolloin jäiden lähtö voi hajottaa putket.. Tämän vuoksi putkia ei mielellään asenneta jokiin, koska niissä virtausnopeudet voivat olla suuria ja täten lämmönkeruuputkisto voi vaurioitua jäiden lähtiessä. Betonipainojen kiinnitys tulee tapahtua pitkäaikaista korroosiota kestävällä tavalla. Putket on aina vietävä avoveteen pohjan läheltä ja routarajan alapuolelta, koska muuten putket voivat jäätyä kiinni vesistön jääpeitteeseen. Asennuksen yhteydessä on suositeltavaa käyttää sukeltajaa apuna, joka tarkistaa lämmönkeruupiiriin kiinnityksen ja sijoittumisen pohjassa. Lämmönkeruuputkiston sijainnista on syytä piirtää kartta ja lisäksi asennetaan varoituskyltit, jotta lämmönkeruuputkisto ei vaurioituisi minkään ulkoisen toiminnan vaikutuksesta. Vesistöistä vuodessa saatu teho on noin 70 - 80 kWh/putkimetri. Putket on eristettävä rakennuksesta rantaveteen saakka, sillä muutoin osa palaavasta lämmöstä voi siirtyä kylmempään maahan. (Thermia partners Oy, 2010; Sulpu ry)



Kuvio 10. Maalämpöpumppu lämmönlähteenä vesistö (Sulpu ry).

## **8. Maalämpö**

### **8.1. Maalämpöpumpun perustelut**

Kiinteistöön asennetaan maalämpöpumppulämmitys. Lämmitysenergia saadaan porakaivosta. Kiinteistön koko on melko suuri joten tällainen lämmitysjärjestelmä on hyvä ratkaisu, koska energia, jonka maalämpöpumppu tuottaa on lähes ilmaista. Maalämpöpumppujärjestelmä on hinnaltaan kalliimpi kuin perinteisemmät puu- ja öljylämmitysjärjestelmät, mutta näin suuressa kiinteistössä maalämpö maksaa itsensä melko nopeasti takaisin. Kun lämmityskustannukset ovat paljon pienemmät kuin esimerkiksi puulämmitteisellä kiinteistöllä, saadaan huomattavia säästöjä aikaan.

### **8.2. Maalämpöpumpun toiminta**

Liuospiirin pumppu kierrättää putkistossa vesi-etanoliseosta (maalämpönestettä), johon maapiirin lämpö on sitoutuneena. Lämpöpumppu ottaa seoksesta talteen lämpöä, jolloin sen lämpötila laskee noin kolmen asteen verran. Lämmön luovutuksen jälkeen neste palaa maalämpöputkistoon uudelleen lämpenemään. Lämpöpumpussa lämpötila nostetaan kompressorin avulla ja johdetaan lämmittämään vesivaraajaa. Varaajasta saadaan käyttövesi tarvittaessa + 55 asteisena. Lämpöjohtoverkoston lämpötilan maksimi on + 55 astetta.

Höyrystimessä kompressorin alhaisen imupaineen ansiosta kylmäaine höyrystyy ja sitoo itseensä maalämpönesteestä lämpöä. Kompressorissa kylmäaine on höyrymäisessä muodossa. Kompressor nostaa kaasun paineen, jolloin lämpötila nousee. Lämpöenergia siirretään edelleen lämminvesivaraajaan lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden valmistukseen.

Lauhduttimessa kylmäainekaasu luovuttaa lämmön lämmitysverkoston veteen ja lauhtuu nesteeksi. Kylmäaine siirtyy lämmönluovutuksen jälkeen nestevaraajaan. Kuivaussuodattimen ja paisuntaventtiilin kautta kylmäaine siirtyy uudelleen höyrytimeen ja kierto on.

Varolaittevarustus sisältää yhdistetyn matala- ja korkeapaineessostaatin. Tällöin vältytään kompressorin liian matalilta tai korkeilta käyttöpaineilta. Korkeapaineessostaatti on asetettu automaattikuittaukselle.

Maalämpöpumppuihin voidaan laskea myöskin vesistöjä lämmönlähteenä käyttävät lämpöpumput, sillä lämmönkeruuperiaate on samanlainen kuin maalämpöpumpuissa. Tällöin lämmönkeruuputkisto ankkuroidaan sopivan vesistön pohjaan ja lämpö otetaan maan sijasta maan sijasta vesistöstä. Maalämpöpumppua voidaan pitää nimenomaan pohjoisen alueen ratkaisuna, sillä maaperä tarjoaa pohjoisen kylmässä ilmastossa varmin ja tasaisimman lämmönlähteen ympäri vuoden. Lämpimässä ilmastossa ulkoilma on yleisempi lämmönlähde.

Nykyiset lämpöpumppujen valmistajat ovat oppineet alkuaikojen virheistä ja laitteiden toimintavarmuus on erittäin hyvä. Laboratoriomittauksissa lämpökertoimet ovat olleet höyrystymis- ja lauhtumislämmöistä riippuen välillä 2,3...3,5. Oikein mitoitetun ja toimivan maalämpöpumpun vuosikertoimenkin pitäisi siis käytännössä olla tällä alueella. Uusissa kehittyneissä laitteissa hyödynnetään myös tulistumislämpö käyttöveden lämmitykseen.

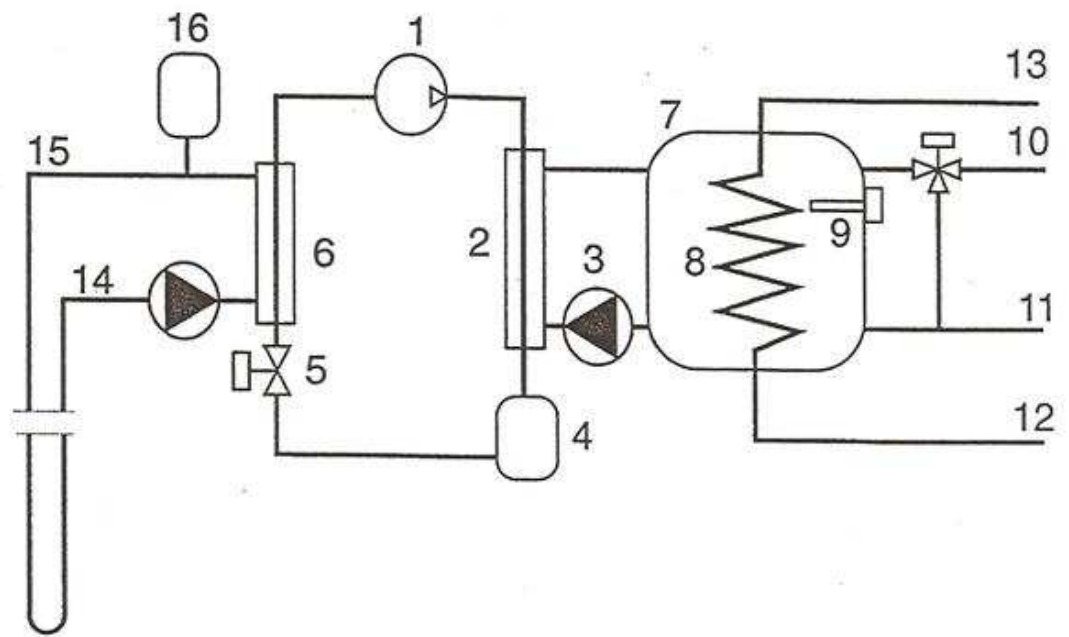
(Pientalon lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluohjeet, Tampere 1996, Antero Aittomäki s:10–11)

Useat maalämpöpumput ovat tehoiltaan melko suuria ja kovin pieniin alle 100 m<sup>2</sup> kiinteistöihin niitä ei ole kannattavaa asentaa, koska tuolloin takaisinmaksuajat kasvavat kohtuuttoman suuriksi (yli 10 vuotta).

Maalämpöpumpun hyvinä puolina voidaan pitää

- varma ja ympäri vuoden melko tasainen lämmönlähde
- tekniikka on tuttua
- voidaan tarvittaessa kattaa koko lämmöntarve
  - Kuitenkin yleensä mitoitetaan n. 80 % lämmöntarpeesta ja huipputeho saadaan esimerkiksi varaajaan asennetuilla sähkövastuksilla
- puhaltimien aiheuttamia ääniongelmia ei ole
- maaliuosta voidaan käyttää kesällä jäähdytykseen pelkillä pumppauskustannuksilla, mikä ei ole nykyisin kovin yleistä.





1 kompressori, 2 lauhdutin, 3 lauhdutinpumppu, 4 nestesäiliö, 5 paisuntaventtiili, 6 höyrystin, 7 lämmitysvaraaja, 8 käyttövesikierukka, 9 sähkövastus, 10 menovesi, 11 paluuvesi, 12 kylmä vesi, 13 lämmin käyttövesi, 14 maasta tuleva liuos, 15 maahan palaava liuos, 16 paisuntasäiliö.

Kuvio 11. Yksinkertaistettu maalämpöpumpun toimintaperiaate

## 9. Aurinkoenergiajärjestelmän mitoitus

Aurinkoenergiajärjestelmän mitoitetaan kahden eri valmistajan antamilla laskukaavoilla ja ohjeilla, jotta saadaan mahdollisimman paljon totuutta vastaava lopputulos. Käytännössä kun tilataan kohteeseen aurinkolämmitysjärjestelmävalmistaja mitoittaa sen valmiiksi ja valitsee juuri parhaiten sopivat tuotteet kohteeseen. Lisäksi myös asennuspalvelut ovat mahdollisia jolloin aurinkoenergiajärjestelmän valmistaja myös asentaa sen valmiiksi. Mutta tässä halutaan laskea valmistajan arvoilla mitoitus järjestelmälle, jolloin saadaan suuntaa antavia tuloksia, joita voidaan käyttää myöhemmin hyödyksi valittaessa valmistajaa, keneltä kohteeseen aurinkolämpöjärjestelmä sitten lopullisesti tilataankaan.

### 9.1. Roth Solar mitoitus

Mitoitetaan aurinkolämpöjärjestelmä vain käyttövedelle. Kohteessa on vaihtuva määrä ihmisiä käyttöaikana. Suurin henkilömäärä voitaneen rajata 45–50 henkilöön.

Aurinkojärjestelmän mitoitus

(Mitoitusohjeet Roth Solar-järjestelmä esitteestä)

Aurinkolämmitysjärjestelmä mitoitetaan kotitaloudessa kesäkuukausien aikana käytetyn energian mukaan.

Kun **aurinkokeräimien pinta-ala** mitoitetaan 50 % peittoasteella, selvittää energiantarpeella täysin toukokuun puolesta välistä syyskuun puoleen väliin saakka.

- Korkeammalla peittoasteella kerääjien keskilämpötila nousee. Korkeammat järjestelmän lämpötilat lisäävät lämpöhäviöitä
- Korkea peittoaste tarkoittaa myös suurempaa keräin pinta-alaa. Kesäkuukausina järjestelmä voi tuottaa enemmän lämpöä kuin mitä sitä pystytään hyödyntämään, jolloin käyttöaste laskee.

Roth Solarin mitoitusohjeiden mukaan aurinkokeräimien pinta-alan mitoitus:  
Kun järjestelmä tuottaa lämmintä käyttövettä tarvitaan henkilöä kohden 1-2 m<sup>2</sup> keräinpinta-alaa

Eli kyseisessä kohteessa keräimiä tarvittaisiin

$$2\text{m}^2/\text{hlö} * 50 \text{ hlö} = 100 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Jos käytetään Roth Solarin keräimiä ja mallimerkinnältään Heliostar 252 – aurinkopaneeleja, joiden nettopinta-ala on 2,3 m<sup>2</sup> tulisi paneeleita olla

$$\frac{100 \text{ m}^2}{2,3 \text{ m}^2} = 43 \text{ kappaletta.} \quad (2)$$

**Energiavaraajan mitoitusohjeen** mukaan kun järjestelmä tuottaa ainoastaan lämmintä käyttö vettä tarvitaan aurinkokeräimien 1 m<sup>2</sup> kohden noin 35 litran tilavuus. Edellä laskettiin että paneelien pinta-ala olisi 100 m<sup>2</sup> jolloin varaajan tilavuuden tulisi olla

$$100 \text{ m}^2 * 35 \text{ l} = 3500 \text{ litraa} \quad (3)$$

**Putkijohdon painehäviön laskeminen.** 43 kappaletta Heliostar 252 paneeleja on asennettu katolle (lounaaseen) ja putkijohdot on vedetty lämmönjakohuoneeseen. Välimatka kellaritiloista katolle on noin 13 metriä ja lisäksi nousuputkista aurinkolämpöyksikölle on noin 3 metriä.

$$(13 + 3\text{m}) * 2 = 32 \text{ m} \quad (4)$$

Kytetään 4 kappaletta Heliostar 252 sarjaan, jolloin saadaan putkikooksi 22 mm. (Kuvio 14)

Paneeleja on 43 (kaava 2) kappaletta, jotka kytetään neljän paneelin sarjoihin, koska tällöin saadaan painehäviö pienemmäksi kuin kytkemällä aurinkopaneelit kuuden sarjoihin

$$\frac{43 \text{ kpl}}{4 \text{ kpl/sarja}} = 11 \text{ sarjamäärä} \quad (5)$$

Paneelisarjoja tulee 11.

Summattuun arvoon on lisätty lisäpainehäviö 50 %, joka muodostuu

järjestelmän putkikäyristä ja muista osista.

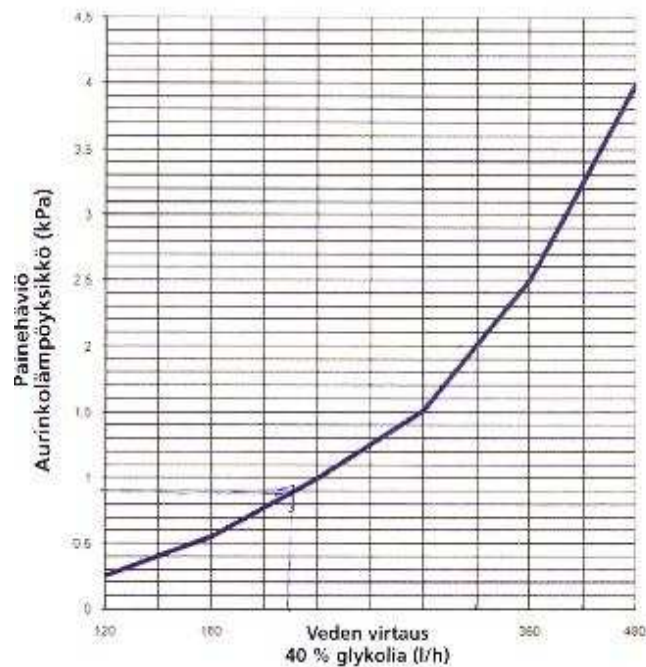
Painehäviö putkijohdossa on tällöin

$$p_{putki} * p_{häviö} * p_{lisä} = 32 \text{ m} * 11 * 70 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 1,5 = 36\,980 \text{ Pa} = 37 \text{ kPa} \quad (6)$$

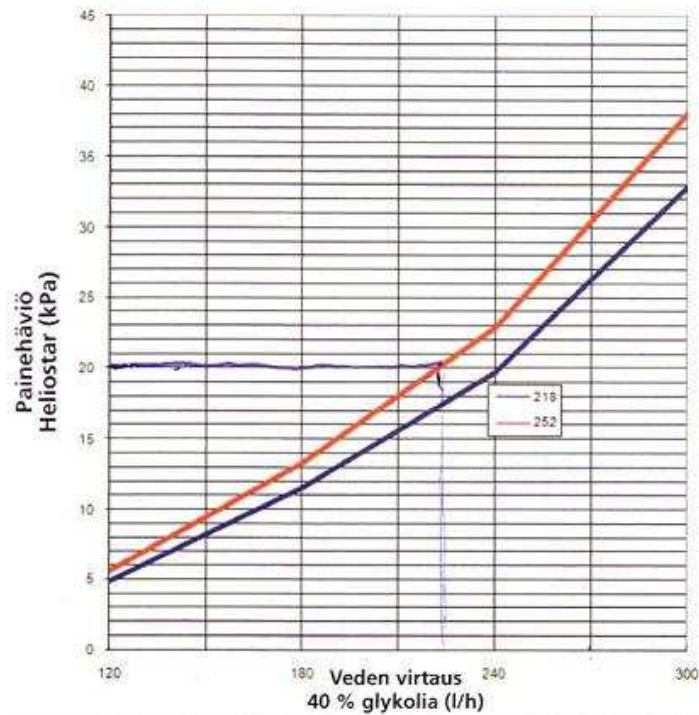
$p_{putki}$  = Painehäviö putkijohdoissa [m] (kaava 4)

$p_{häviö}$  = painehäviö (40 % glykolia) [Pa/m] Kuvio 14

$p_{lisä}$  = Lisäpainehäviö, joka muodostuu järjestelmän putkikäyristä ja muista putkiosista (50 %)



Kuvio 12. Aurinkopaneelien painehäviöt



Kuvio 13. Aurinkolämpöyksikön painehäviö

Heliostarin (sarjamäärä)	Erf. vedenluku- määrä virtaus (l/h)	Kupariputki DN	Painehäviö (40% glykolia) (Pa/m)	Roth Flex-putki DN	Painehäviö (40% glykolia) (Pa/m)
2 kpl 218 (3,92 m <sup>2</sup> )	120	15	180	16	40
3 kpl 218 (5,88 m <sup>2</sup> )	180	15	250	16	80
4 kpl 218 (7,84 m <sup>2</sup> )	240	22	45	16	220
5 kpl 218 (9,80 m <sup>2</sup> )	300	22	80	20	55
6 kpl 218 (11,76 m <sup>2</sup> )	350	22	110	20	145
2 kpl 252 (4,60 m <sup>2</sup> )	140	15	215	16	45
3 kpl 252 (6,90 m <sup>2</sup> )	210	22	30	16	120
4 kpl 252 (9,20 m <sup>2</sup> )	280	22	70	20	40
5 kpl 252 (11,5 m <sup>2</sup> )	350	22	110	20	145
6 kpl 252 (13,8 m <sup>2</sup> )	415	22	150	20	250

Kuvio 14. Painehäviö putkijohdoissa [Pa/m]

Kuviosta 13 saadaan selville painehäviön avulla (Kaava 6) veden virtaus, joka on tässä tapauksessa 295 l/h, ja veden virtauksen avulla saadaan selville painehäviö kuviosta 12 aurinkolämpöyksikössä, joka on 1,5 kPa.

Kun lasketaan putkijohdon painehäviö ja aurinkolämpöyksikön painehäviö yhteen saadaan järjestelmän kokonaispainehäviö.

$$P_{kok} = P_{putki} + P_{yksikkö} = 37 \text{ kPa} + 1,5 \text{ kPa} = 38,5 \text{ kPa}$$

TEKNISET OMINAISUUDET			
	Heliostar 218	Heliostar 252	
Pituus	1820	2100	mm
Leveys	1200	1200	mm
Korkeus	109	109	mm
Bruttopinta-ala	2,18	2,52	m <sup>2</sup>
Nettopinta-ala	1,96	2,30	m <sup>2</sup>
Paino	35	43	kg
Tilavuus	1,26	1,46	l

Kuvio 15. Tekniset ominaisuudet aurinkokeräimille.

### Jäätymisenestoaineen ja paisuntasäiliön mitoitus

Aurinkolämmitysjärjestelmä täytyy varustaa jäätymisenestoaineella, jotta riski siitä, että joku komponentti jäätyisi talven aikana rikki voidaan eliminoida pois. On myös tärkeää että järjestelmä rakennetaan siten että veden laajeneminen otetaan huomioon. Aurinkolämmitysjärjestelmien lämpötilat vaihtelevat voimakkaasti ja sen vuoksi myös veden tilavuus vaihtelee. Järjestelmän kokonaistilavuuden avulla saadaan mitoitettua paisuntasäiliö ja jäänestoaineen (propyleeniglykoliseos) määrä oikein.

Taulukko 2. Tarvittavan glykolimäärän laskenta

Komponentti	Tilavuus	Määrä	Yhteensä [l]
Heliostar 252 (kaava 2 ja kuvio 11)	$1,46 \frac{l}{kpl}$ *	43 kpl	62,8
Kupariputki 22*1 (kaava 4)	$0,31 \frac{l}{m}$ *	32 m	10
Roth aurinkolämpöyksikkö	$0,8 \frac{l}{kpl}$ *	1 kpl	0,8
Roth aurinkoenergiavaraaja 750 l	$16,7 \frac{l}{kpl}$ *	4 kpl	66,8
Minimi vesimäärä paisunta- astiassa			168,8
Veden tilavuus yhteensä			406,2
Tarvittava glykolimäärä	406,2 *	0,5	203,1

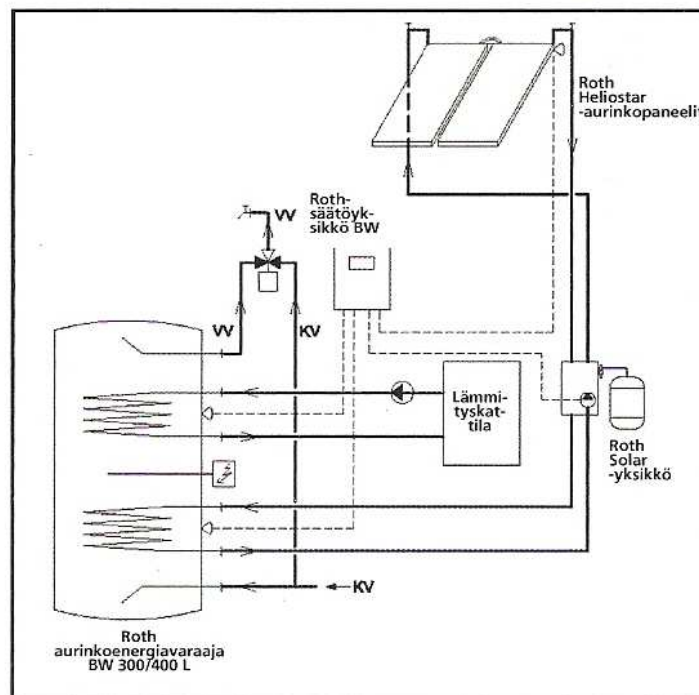
### Paisuntasäiliö

Paisuntatilavuus lasketaan siitä laajenemisesta, joka tapahtuu kiertävässä glykoliseoksessa n. 8 % kokonaisvesimäärästä, sekä siitä tilavuushöyrystä, jota voi syntyä aurinkopaneeleissa kiertohuipun yhteydessä. Paisuntatilavuus on myös riippuvainen aurinkolämmitysjärjestelmän lisäpaineesta ja varoventtiilin avautumispaineesta. 15 metrin asennuskorkeuden yhteydessä lisäpaine on 2 baria. Avautumispaine varoventtiilissä on 6 baria. Näiden edellytysten mukaan täytyy paisunta-astian olla 2 x paisuntatilavuus

Taulukko 3. Järjestelmän nestetilavuuden laajeneminen

Järjestelmän vesitilavuuden laajeneminen Kokonaistilavuus x 0,08	$232,4 * 0,08 = 18,6$ litraa
Tilavuus aurinkopaneeleissa (taulukko 2)	62,8 litraa
Aurinkopaneelin alareunan päällä olevien putkijohtojen tilavuus	3 litraa
Paisuntatilavuus yhteensä	84,4 litraa
Paisunta-astian tilavuus Veden laajenemistilavuus * 2	168,8 litraa

Roth Solar -järjestelmä BW kytkettynä olemassa olevaan lämmön lähteeseen



Kuvio 16. Roth Solar järjestelmä lämpimän käyttöveden lämmitykseen.



## 10. Aurinkoenergiajärjestelmän mitoitus

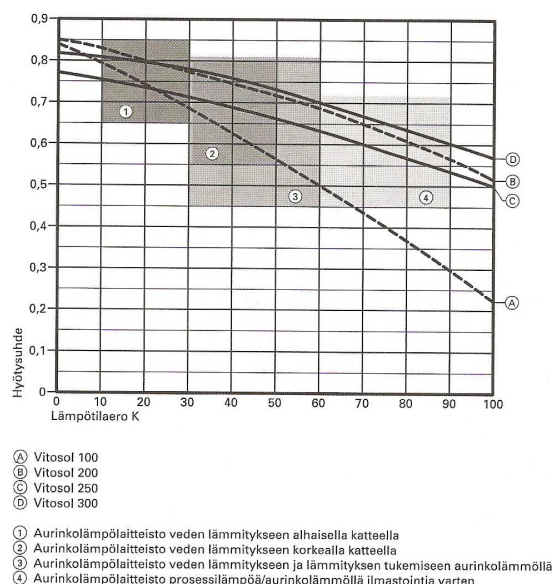
### 10.1. Viessmann

Viesmannin esitteestä löytyneet mitoitusohjeet vastaavat paremmin suuremman kokoluokan rakennusta

Lämpimän käyttöveden tarve vuorokaudessa voidaan määrittää seuraavalla tavalla.

Koska rakennuksessa ei ole ympärivuotista käyttöä vaan käyttö on ajoittaista, voidaan kohdetta verrata hotelleihin/majoitusliikkeisiin. Kohteessa on useita huoneita, joissa kaikissa on suihku(Viesmann esite) , jolloin lämpimän käyttöveden (45 °C) tarve olisi välillä 74–135 l/(d\*hlö)

**Valitaan keräimeksi** Vitosol 300 Heat Pipe periaatteella toimiva tyhjiöputkikeräin. Koska sillä saadaan yhdellä paneelilla 4,38 m2 bruttopinta-ala, ja on helpompaa ja nopeampaa asentaa suuria paneeleja kuin monta pientä keräintä. Vitosol 300 H30 keräimiä kohteeseen tulisi asentaa 12–16 kappaletta (kaava 7) tai vastaavasti jos valitaan pienempi malli Vitosol 300 malli H20, niitä tarvittaisiin 18–26 kappaletta (kaava 7). Etuna pienemmässä mallissa olisi se että se ei ole niin painava. Painoa H20:lla on 45 kiloa ja isommalla H30 68 kiloa.



Kuvio 17. Aurinkopaneelien hyötysuhde eri lämpötilaeroilla

Lasiputkien tyhjiö takaa parhaimman mahdollisen eristyksen.

Konvektiohäviöitä lasiputkien ja absorbaattorin välillä on tuskin laisinkaan.

Sen vuoksi voidaan myös vähäistä hajasäteilyä hyödyntää.

Absorbaattoriin on asennettu haihdutin nesteellä täytetty lämmitysputki.

Lämmitysputki on liitetty joustavalla liitännällä kondensaattoriin.

Kondensaattori sijaitsee kaksoisputkilämmönvaihtimessa. Kyseessä on nk. kuivaliitântä, joka mahdollistaa sen, että keräimen putki voidaan kääntää tai vaihtaa myös laitteiston ollessa täynnä ja paineenalaisena.

### **Vaadittavan keräinpinnan määrittäminen**

Sääolosuhteisiin, kuten vuotuihin kokonaissäteilyyn, pilvisyyteen yms. perustuvat arviot ovat riittäviä käytäntöön sovellettaviksi.

Tyhjiöputkikeräin Vitosol 300

Säteilypinta

Tyyppi H 20: 2,14 m<sup>2</sup>

Tyyppi H 30: 3,21 m<sup>2</sup>

Vaadittava säteilypinta-ala henkilöä kohden: 0,8 - 1,0 m<sup>2</sup>

$$A_G = A * P \quad (7)$$

A= Pinta-ala m<sup>2</sup>

P= henkilömäärä

$$A_G = (0,8 - 1,0m^2) * 50$$

$$A_G = 40 - 50 m^2$$

Paremmiin kohteeseen sopii 12–16 kappaletta tyyppiä H 30 aurinkokeräimiä noin 60 % prosentin peittoasteella.

**Varaajan kokonaismäärä** (aurinkolämpö-varaaja + valmiusmäärä) pitäisi mitoittaa 1,5 – 2 – kertaiselle päivän tarpeelle

$$V_{sp_{min}} = \frac{2 \cdot V_p \cdot P \cdot (t_w - t_k)}{t_{sp} - t_k} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 50 \cdot (45 - 10)}{50 - 10} = 4300 \text{ litraa} \quad (8)$$

$V_{sp_{min}}$  = vähimmäismäärä litroissa

$V_p$  = lämpimän käyttöveden tarve litraa / (d \* henkilö) 50 l / (hlö \* d)

P = henkilöiden lukumäärä 50

$t_w$  tila = Lämpimän käyttöveden lämpötila vedenottopaikassa 45 C

$t_k$  = Kylmän käyttöveden lämpötila 10 C

$t_{sp}$  = Lämpimän käyttöveden lämpötila varaajassa (50 – 60 °C)

Lämmivesivaraajan vähimmäismääräksi tulisi 4300 litraa ja se on mitoitettu kaksinkertaiselle päivän tarpeelle.

### **Tilavuusvirta**

Suuriin aurinkolämpölaitteistoihin yli 20 m<sup>2</sup> suositellaan Low-Flow käyttöä (käyttöä alhaisella läpivirtauksella) , jossa ominaistilavuusvirtaa voidaan vähentää jopa n. 15litraan/(m<sup>2</sup>\*h).

Etuja tällaisessa laitteistossa ovat:

- Saavutetaan nopeasti korkea keräinpiirin lämpötila.
- Vähäisen keräyspiirin tilavuusvirran ansiosta tarvitaan selvästi pienempiä putkien läpimittoja.
- Vaaditaan vähäisempää pumpun tehoa.

Paneelikentän tilavuusvirta  $V$  keskiuurella läpivirtausmäärällä

$$V = A \cdot q_v \quad (9)$$

$A$  = Säteilypinta-ala  $m^2$  (kaava 7)

$q_v$  = Läpivirtausmäärä  $m^2/h$  20  $l/(m^2 \cdot h)$

$$V = 40 \, m^2 \cdot 20 \, l/(m^2 \cdot h) = 800 \, l/h$$

$$800 \, l/h / 60 \, min = 13,3 \, l/min \quad (10)$$

$$13,3 \, l/min / 12 \, keräintä = 1,11 \, l/(min \cdot keräin) \quad (11)$$

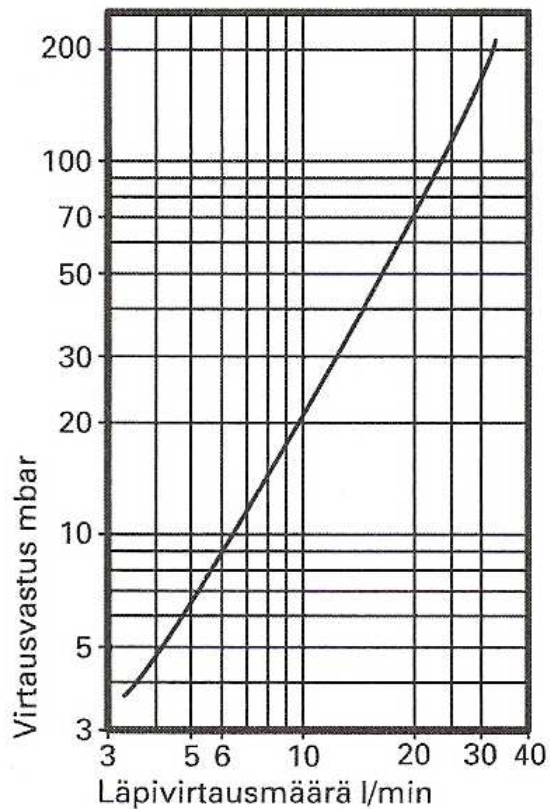
Taulukko 4. Paneelikentän tilavuusvirta

**Paneelikentän tilavuusvirta keskiuurella  
läpivirtausmäärällä 20  $l/(m^2 \cdot h)$**

Säteilypinta $m^2$	Tilavuus- virta $l/h$	Vaaditt. putkien läpimitta $mm$
15	300	18 × 1
20	400	22 × 1
25	500	
30	600	
40	800	28 × 1,5
50	1000	35 × 1,5
60	1200	
70	1400	
80	1600	42 × 1,5
90	1800	
100	2000	
120	2400	54 × 2
150	3000	

Taulukosta 4 katsottuna paneelikentän tilavuusvirtaa vastaavaksi putken läpimitaksi tulee 28 × 1,5. Laskelmissa on käytetty säteilypinta-alaa joka vastaa 0,8  $m^2/hlö$ . Joka vastaa kokonaissäteilypinta-alaa 40  $m^2$  (kaava 7)

**Aurinkolämpöjärjestelmän meno- ja paluuputken virtausvastus (putkimetriä kohden)  
(käytettäessä vettä)**



Kuvio 18. Aurinkolämpöjärjestelmän meno- ja paluuputken virtausvastus (putkimetriä kohden).

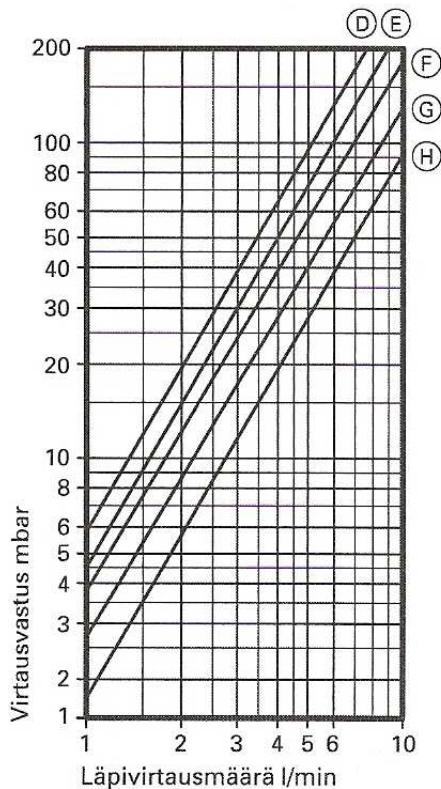
**Virtausvastus**

Kuviosta 18 katsottuna saadaan meno- ja paluuputken virtausvastukseksi noin 30 mbar/putkimetri 13,3 l/min virtauksella (kaava 10). Putkiston pituus laskettiin kaavassa 4. Ja tuloksena oli 32 metriä.

Kun kerrotaan 30mbar/putkimetri putkiston pituudella saadaan putkiston virtausvastus.

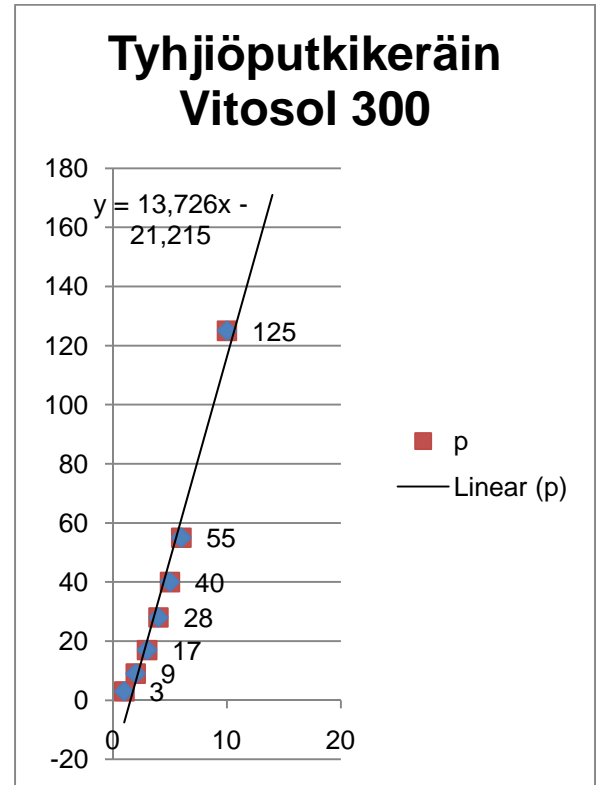
$$30 \text{ mbar/m} \cdot 32 \text{ m} = 960 \text{ mbar} = 0,96 \text{ bar} = 96 \text{ kPa} \quad (12)$$

Tyhjiöputkikeräin Vitosol 300



- D 2 × tyyppi H30  
 E 1 × tyyppi H20 ja 1 × tyyppi H30  
 F 2 × tyyppi H20  
 G 1 × tyyppi H30  
 H 1 × tyyppi H20

Kuvio 19. Virtausvastus



Kuvio 20. Excel, lineaarinen

13,3 l/min läpivirtausmäärällä oleva järjestelmä ei enää mahdu kuvioon 19. Kuvio 20 on muokattu Excelillä ja kuviossa 20 olevasta kaavasta saadaan arvo 13,3 l/min läpivirtausmäärälle. Kuvioon 20 syötetyt arvot vastaavat käyrää G kuviossa 19.

Kun syötetään kaavaan:

$$y = 13,726x - 21,215 \quad (13)$$

arvo 13,3 l/min

$$y = 13,726 * 13,3 - 21,215 = 161 \text{ mbar}$$

Kaavasta 13 saadaan virtausvastukseksi 161 mbar yhdelle keräimelle.

Keräimien lukumääräksi saatiin 12 (kaava 7). Kerrotaan virtausvastus (kaava 13) keräimien lukumäärällä niin saadaan kerääjien tekemä virtausvastus järjestelmään.

$$V = 12 \text{ keräintä} * 161 \text{ mbar} = 1932 \text{ mbar} = 1,932 \text{ bar} \quad (14)$$

Kun lasketaan yhteen putkiston virtausvastus, paneelien virtausvastus ja lisätään kokonaispainehäviöön 50 % putkimutkien ja muiden vastusta lisäävien osien vuoksi saadaan järjestelmän kokonaispainehäviö.

$$(0,96 \text{ bar} + 1,932 \text{ bar}) * 1,5 = 4,4 \text{ bar} \quad (15)$$

Kun tunnetaan koko järjestelmän läpivirtausmäärä ja kokonaispainehäviö voidaan valita pumppu järjestelmään pumppukäyrien perusteella.

Viesmannin esitteestä ei löytynyt tähän tilanteeseen sopivaa kiertovesipumppua

## 10.2. Viesmann ESOP NA 4.0

Viessmannilta löytyy ESOP NA 4.0 niminen mitoitusohjelma, jonka avulla saadaan kaikki mitoittavat arvot helposti ja nopeasti. Ainut huono puoli ohjelmassa oli että en saanut käyttöön kuin demoversion kyseisestä ohjelmasta. Demoversio toimi muuten aivan täysin samalla lailla kuin kokoversiokin, mutta siinä ei ollut mahdollista valita paikaksi kuin Saksassa oleva Wurzburg ja Cape town. Kun kohde sijaitsee Suomessa ja Levillä niin ulkolämpötilat ovat aivan erilaisia kuin edellä mainituissa kaupungeissa. Joten tuloksiin ei ole aivan täysin luottamista, mutta mitoitin kuitenkin järjestelmän samoilla arvoilla kuin ylempänä on mitoitettu. Ainoa poikkeus oli siis että ulkolämpötilat ja sitä myötä saatavat tehot ja tehon mitoitukset eivät pidä paikkaansa, jolloin ohjelman antama teho on liian pieni.

Ohjelma oli muuten oikein hyvä työväline mitoitukseen. Ohjelma laskee arvot automaattisesti ja antaa sinulle lopputulokset. Lisäksi ohjelma antaa diagrammit siitä millaisia tehoja saadaan kuukausittain. Lisäksi on mahdollista piirtää erilaisia käyrästöjä. Kuviossa 21 näkyvät diagrammien piirtoparametrit. Lisäksi liitteenä ovat tulokset, jotka sain käyttämällä ESOP-ohjelmaa.

Ohjelmasta saadun loppuraportin tulokset ovat samansuuntaisia kuin lasketut arvot. Ohjelma vain antaa enemmän tietoja tehosta mm. kuinka paljon CO<sub>2</sub> päästöjä pystytään vähentämään kun käytetään aurinkolämpöä sen sijaan että käytettäisiin jotain muuta lämmitysmuotoa tuottamaan vastaava määrä energiaa.



Display Results	
Select Available Results by Project Tree	List all Available Results
Available Results	Graph - Legend
<input checked="" type="checkbox"/> Tank Losses	Heat Loss - Tank
<input type="checkbox"/> System Efficiency	Efficiency
<input checked="" type="checkbox"/> Specific Global Radiation onto Inclined, Shaded Surface	G Inclined, Specific, Shade
<input checked="" type="checkbox"/> Specific Global Radiation onto Inclined Surface Area	G Inclined, Specific - Array
<input type="checkbox"/> Solar Contribution to DHW	E Solar - DHW
<input checked="" type="checkbox"/> Sensor: Collector Loop Switch Off Temperature	T Coll Off
<input checked="" type="checkbox"/> Sensor: Collector Loop Reference Temperature	T Coll On/Off
<input checked="" type="checkbox"/> Sensor: Auxiliary Heating Off	T Aux Heat Off
<input checked="" type="checkbox"/> Primary Energy Equivalent	PE Boiler
<input checked="" type="checkbox"/> Preset DHW Consumption	Vol Flow Rate DHW Default
<input checked="" type="checkbox"/> Outside Temperature	T Outside - Climate
<input checked="" type="checkbox"/> Optical Losses	Heat Loss Coll - Optical
<input type="checkbox"/> Natural Gas (H) Savings	Saving Natural Gas (H)
<input checked="" type="checkbox"/> Losses - Internal Piping	Losses - Internal Piping
<input checked="" type="checkbox"/> Losses - External Piping	Heat Loss Ext Piping - Collec
<input checked="" type="checkbox"/> Irradiation onto Gross Surface Area (unshaded)	G Gross
<input checked="" type="checkbox"/> Irradiation onto Gross Surface Area	G Gross, Shade
<input checked="" type="checkbox"/> Irradiation onto Active Solar Surface Area (unshaded)	G Active Sol
<input checked="" type="checkbox"/> Irradiation onto Active Solar Surface Area	G Active Sol, Shade
<input checked="" type="checkbox"/> Global Radiation - Horizontal	G Horizontal
<input type="checkbox"/> Energy: Aux Heating	E Aux Heating
<input checked="" type="checkbox"/> Energy from Collector Loop	E Coll Loop
<input checked="" type="checkbox"/> Energy from Boiler	E Boiler
<input checked="" type="checkbox"/> E Heating Element	E Elec - Heat Element
<input checked="" type="checkbox"/> DHW Temperature	T DHW
<input type="checkbox"/> DHW Solar Fraction	DHW Solar Fraction
<input checked="" type="checkbox"/> DHW Heating Energy Supply	E DHW
<input checked="" type="checkbox"/> DHW Heating Energy Requirement	E Preset - DHW
<input checked="" type="checkbox"/> DHW - Consumption	VFR DHW - Consumption
<input checked="" type="checkbox"/> Consumption Natural Gas (H)	Cons: Natural Gas (H)
<input checked="" type="checkbox"/> Collector Temperature	T Mean - Collector
<input checked="" type="checkbox"/> Collector Loop Outlet Temperature	T Flow - Coll Loop
<input checked="" type="checkbox"/> Collector Loop Efficiency	Collector Yield
<input checked="" type="checkbox"/> Collector Flow Temperature	T Flow - Collector
<input checked="" type="checkbox"/> Cold Water Temperature	T Cold Water
<input type="checkbox"/> CO2 Emissions Avoided	CO2 Emissions Avoided
<input checked="" type="checkbox"/> Clearness Index	Clearness Index-W
<input checked="" type="checkbox"/> Circulation Losses	E (Sec) Circ
<input checked="" type="checkbox"/> Change of Energy Level	E Capacity - Tank
<input checked="" type="checkbox"/> Average Temperature	T Average - Tank
<input checked="" type="checkbox"/> Auxiliary Heating Sensor On	T Aux Heat On
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal Collector Losses	Heat Loss Coll - Thermal

Kuvio 21. ESOP NA – ohjelmasta saatavat diagrammien piirtovaihtoehdot

## 11. Maalämpöpumpun mitoitus

### Lämmitystehon ja vuotuisen energiantarpeen arviointi

Rakennuksen konduktanssi ja lämmitystehontarve

**Ilmanvaihto:**

$$0,15 * \text{rakennustilavuus } m^3 * \text{LTO-hyötysuhde} = \text{Konduktanssi} \quad (16)$$

$$0,15 * 1906 m^3 * \left(1 - \frac{55}{100}\right) = 129 \frac{W}{K}$$

### Rakennustilavuus

$$(11,9m * 2,43m * 23m) + (11,8 * 3,62 * 19,3) + (8,7 * 3,4 * 14,1) = 1906 m^3 \quad (17)$$

$$\textbf{Vuotoilma: } 0,03 * \text{rak.tilavuus } [m^3] = 0,03 * 1906 m^3 = 57 W/K \quad (18)$$

$$\textbf{Ulkoseinät: } U\text{-arvo} * \text{Pinta-ala } m^2 = 0,17 * 576 m^2 = 98 W/K \quad (19)$$

### Ulkoseinien pinta-ala

$$[(2,43 * 23) * 2] + [(11,9 * 2,43) * 2] + [(2,62 * 19,3) * 2] + [(3,62 * 11,8) * 2] + [(3,4 * 14,1) * 2] + [(3,4 * 8,7) * 2] = 576 m^2 \quad (20)$$

$$\textbf{Ikkunat: } U\text{-arvo} * \text{Pinta-ala } m^2 = 1,0 * 18 m^2 = 18 W/K \quad (21)$$

Noin 18 m<sup>2</sup>

$$\textbf{Ulko-ovet: } U\text{-arvo} * \text{Pinta-ala } m^2 = 1,0 * 19 m^2 = 19 W/K \quad (22)$$

noin 19 m<sup>2</sup>

$$\textbf{Yläpohja: } U\text{-arvo} * \text{Pinta-ala } m^2 = 0,09 * 624 m^2 = 56 W/K \quad (23)$$

$$\textbf{Pohjan pinta-ala: } 11,9 * 23 + 19,3 * 11,8 + 14,1 * 8,7 = 624 m^2 \quad (24)$$

$$\textbf{Alapohja: } U\text{-arvo} * \text{Pinta-ala } m^2 = 0,16 * 624 m^2 = 100 W/K \quad (25)$$

### Konduktanssi Yhteensä:

$$129 + 57 + 98 + 18 + 19 + 56 + 100 = 477 W/K \quad (26)$$

### Lämmitystehontarve

Konduktanssi \* (Sisälämpötila - ulkolämpötila) = [W]

$$477 \frac{W}{K} * (20 - (-38) C) = 28\,000\,W \quad (27)$$

### Käyttöveden lämmitysenergia

Käyttöveden lämmitysenergian tarve

Vedenkulutus luokka (A & A1, B, C) \* Kiertojohto (1,0;1,5;2,0) \* asukasmäärä

(hlö) = kWh

$$1375 * 1,5 * 50 = 103\,125\,kWh/a \quad (28)$$

### Sisäiset lämpökuormat

Lasketaan rakennuksen sisäiset lämpökuormat, jotka vähennetään

vuotuisesta kokonaisenergian tarpeesta

Käyttövesijärjestelmä 0,3 \* käyttöveden lämmitysenergian tarve kWh/a

$$0,3 * 103\,125 = 31\,000\,kWh \quad (29)$$

Ihmiset: 200 kWh/hlö \* Asukasmäärä (hlö) (30)

$$200 * 50 = 10\,000\,kWh$$

Sähkölaitteiden varustetaso, kuinka paljon sähkölaitteet tuottavat vuodessa

lämpöä ympäristöön [kWh]

- Korkea varustetaso 4000
- Normaali varustetaso 3000
- Matala varustetaso 2250

## Auringon säteily

Ikkunoiden pinta-ala on arvioitu rakennuspiirustuksista( liitteenä), ja kuormat saatiin

suoraan taulukosta (3 kirkasta lasia). (kuviosta 18)

$$\text{Eteläikkunat Kuorma kWh/m}^2 \cdot \text{pinta-ala } 192 \text{ kWh/m}^2 \cdot 10 \text{ m}^2 = 1920 \text{ kWh} \quad (31)$$

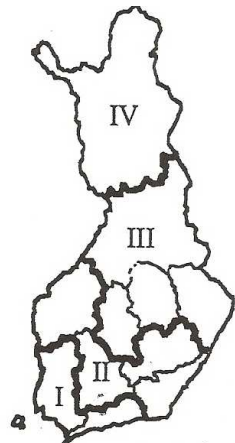
$$\text{Itäikkunat Kuorma kWh/m}^2 \cdot \text{pinta-ala } 135 \text{ kWh/m}^2 \cdot 33 \text{ m}^2 = 4455 \text{ kWh} \quad (32)$$

$$\text{Länsi-ikkunat Kuorma kWh/m}^2 \cdot \text{pinta-ala } 137 \cdot 33 \text{ m}^2 = 4521 \text{ kWh} \quad (33)$$

$$\text{Pohjoisikkunat Kuorma kWh/m}^2 \cdot \text{pinta-ala } 95 \cdot 12 \text{ m}^2 = 1140 \text{ kWh} \quad (34)$$

Lasketaan yhteen sisäiset lämpökuormat

$$\begin{aligned} &31\,000 \text{ kWh} + 10\,000 \text{ kWh} + 4000 \text{ kWh} + 1920 \text{ kWh} + 4455 \text{ kWh} + 4521 \\ &\text{ kWh} + 1140 \text{ kWh} \\ &= 57\,036 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (35)$$



Mitoittavat ulkolämpötilat eri vyöhykkeillä

Vyöhyke	Mitoittava ulkolämpötila (°C)
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Lämmityskauden astepäiväluvut eri vyöhykkeillä

Vyöhyke	Astepäiväluku (°Cd)
I	5165
II	5378
III	5784
IV	6918

Ikkunoiden läpäisemä auringonsäteily eri vyöhykkeillä (kWh/m²)

	3 kirkasta lasia			2 kirkasta lasia			2 kirkasta lasia, 1 selektiivinen		
	I & II	III	IV	I & II	III	IV	I & II	III	IV
Etelä	276	226	192	314	257	219	246	202	171
Itä	176	154	135	200	175	154	157	137	121
Länsi	184	155	137	209	177	156	164	139	122
Pohjoinen	110	100	95	125	114	108	98	89	85

Kuvio 22. Ulkolämpötilat, astepäiväluvut ja auringonsäteily eri vyöhykkeillä.

### 11.1. Vuotuinen lämmitysenergiantarve

$$Q_{l\ddot{a}m} = 0,0192 GS + Q_{lkv} - 0,4 (Q_{sis} + Q_{aur}) \quad (36)$$

jossa

$Q_{l\ddot{a}m}$  = rakennuksen vuotuinen lämmitysenergiantarve [kWh]

$G$  = rakennuksen konduktanssi [W/K]

$S$  = lämmityskauden astepäiväluku [Cd]

$Q_{lkv}$  = Lämpimän käyttöveden kulutuksen ja kiertojohdon aiheuttama energiantarve [kWh]

$Q_{sis}$  = Sisäisten lämmönlähteiden rakennukseen luovuttama lämpöenergiamäärä [kWh]

$Q_{aur}$  = Ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia [kWh]

$$0,0192 * 780 \text{ W/K} * 6918 \text{ Cd} + 103\,125 \text{ kWh} - 0,4 * 57\,036 \text{ kWh} = 184\,000 \text{ kWh} \quad (37)$$

Lämmitysenergian tarve lämpimän käyttöveden 40 % osuudella.

$$0,0192 * 780 \text{ W/K} * 6918 \text{ Cd} + (103\,125 \text{ kWh} * 0,4) - 0,4 * 57\,036 \text{ kWh} = 122\,000 \text{ kWh} \quad (38)$$

Maalämpöpumppu mitoitetaan vastaamaan koko vuoden lämmitystehoa, koska aurinkopaneeleista ei saada lämmitysveden lämmittämiseen tarvittavaa energiaa ollenkaan kylmimpinä kuukausina (joulukuu, tammikuu, helmikuu). Tällöin aurinkojärjestelmä toimii vain täydentävänä ratkaisuna ja maalämpöpumppu toimii päälämmitysjärjestelmänä.

Aurinkoenergian keskimääräinen teho voidaan laskea kaavalla 39 ja 40. Kesällä teho on suurempi ja talvella pienempi.

$$184\,000\text{ kWh} - 122\,000\text{ kWh} = 62\,000\text{ kWh} \quad (39)$$

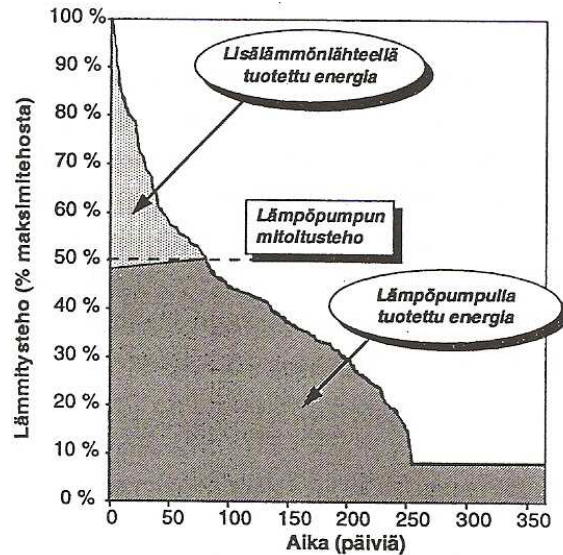
Joka tarkoittaa tehollisesti arvoa

$$p = \frac{kWh}{kk*vrk*h} \quad (40)$$

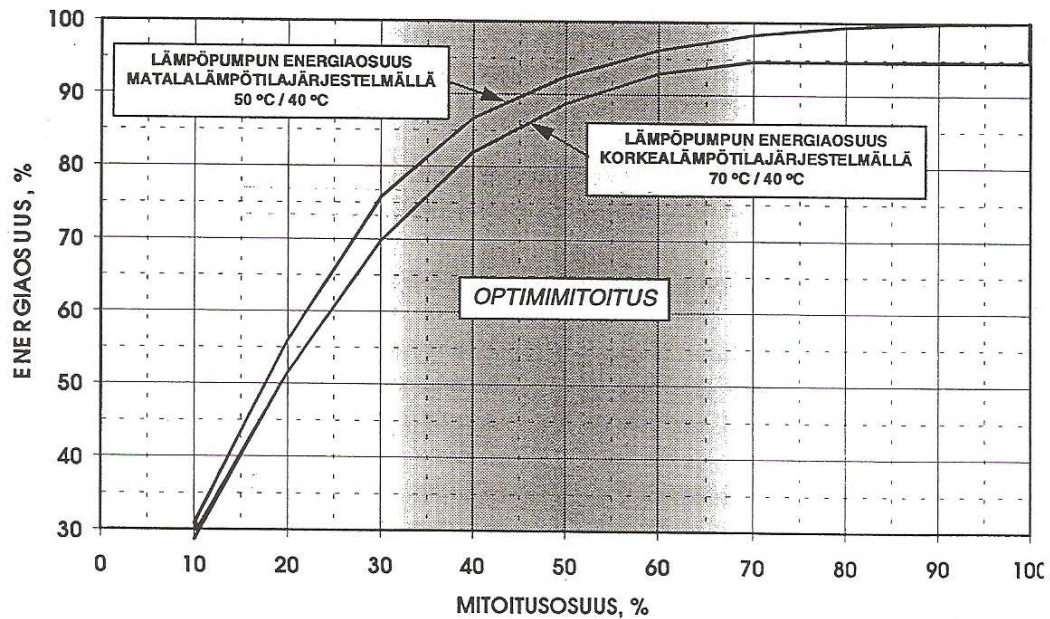
$$\frac{62\,000}{(9*30*24)} kW = 9,6 kW$$

### Lämpöpumpun tehon mitoitus

Lämpöpumppua ei yleensä mitoiteta kattamaan koko vuoden lämmitysenergian tarvetta, koska tällöin lämpöpumpun käyttöaste jää niin alhaiselle tasolle, että sitä ei pystytä järkevässä ajassa kuolettamaan. Vuotuinen huipputehontarve on noin 50 päivää vuodessa (kuvio 23), ja jos lämpöpumppu mitoitetaan osatehoiseksi (40–60 % lämmitysenergiantarpeesta) tällöin puuttuva lämmitysenergia saadaan esimerkiksi varaajaan asennetuista sähkövastuksista.



Kuvio 23. Maalämpöpumpun mitoitusaste



Kuvio 24. Maalämpöpumpun mitoitusosuudet ja niillä saatava energiasuus.

Kaavasta 27 saatiin rakennuksen lämmitystehontarpeeksi 28 kW.

Lämpöpumppu mitoitetaan yleensä 40 – 60 % prosenttiosuudelle jolloin lämpöpumpun teho olisi välillä 11,2 – 16,8

Mitoitetaan maalämpöpumppu 16 kW teholle jolloin lämpöpumpun mitoitusosuudeksi tulee

$$\frac{16}{28} * 100\% = 57 \%. \quad (41)$$

Jolloin saadaan kuviosta 24 katsottuna maalämpöpumpun energiasuudeksi noin 95 %,

$$\text{Lämpöpumpun osuus kokonaisenergiatarpeesta} = \frac{(Q_{kok} - Q_{lkv}) * \eta + Q_{lkv}}{Q_{kok}} \quad (42)$$

$Q_{kok}$  = Kokonaisenergiatarve [kWh/a]

$Q_{lkv}$  = Lämpimän käyttöveden energiantarve [kWh/a]

$\eta$  = Lämpöpumpulla tuotettava energiansuus koko lämmöntarpeesta kuviosta 20

$$\frac{(184\,000 \text{ kWh} - 103\,125 \text{ kWh}) * 0,95 + 103\,125}{184\,000} = 98 \%$$

Jolloin lämpöpumpun osuus kokonaisenergiatarpeesta on 98 %



## 11.2. Maalämpökaivon mitoitus

Lämpökaivo tulee mitoittaa siten että jäätymistä ei tapahdu. Lämpökaivosta saatava energian määrä riippuu kaivon veden tuotosta, eli kuinka paljon vesi siirtää lämpöä ympäröivästä maaperästä. Lämpökaivon todellinen syvyys selviää vasta porauksen ja koepumppauksen avulla, mutta lämpökaivon syvyys voidaan arvioida, jolloin saadaan tietoa kustannusten arviointiin. (Kurth, 2002)

Vuotuinen lämpöenergiantarve 184 000 kWh/a

Maalämpöpumpun COP = 2,5, ilmaisenergiaa 60 % eli 0,6 (taulukko 5)

Lämmönlähteenä lämpökaivo

lämpökaivosta kerättävä energiamäärä

$$Q_{maa} = 184\,000 \frac{kWh}{a} * 0,6 = 110\,400 \frac{kWh}{a} \quad (43)$$

Lämpökaivon aktiivinen syvyys (Se pituus joka on kaikkina vuodenaikoina veden peitossa) voidaan laskea kaavalla

$$Kaivo_s = \left( \frac{110\,400 \frac{kWh}{a}}{50 \frac{kWh}{m}} \right) * 0,5 = 1100 \, m \quad (44)$$

Lämpökaivosta saatavan energiamäärän on arvioitu olevan 50 kWh/m.

Suunnittelussa arvioidaan lämpökaivo kuivakaivoksi, jolloin siitä saatava energiamäärä on pienempi kuin todellisuudessa. Porakaivojen syvyydet ovat 100–200 metriä syviä. Jos kaivojen syvyydeksi tulisi 200 metriä, silloin porakaivoja pitäisi olla

$$\frac{\text{Aktiivinen syvyys}}{\text{Porakaivon syvyys}} = \frac{1100 \, m}{200 \, m} = 5,5 \quad (45)$$

Laskelmiin perustuen tulisi porata 6 maalämpökaivoa, joiden syvyys yhteensä on 1100 metriä.



Taulukko 5. Lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin.

Lämpökerroin	Sähköenergiaa	Ilmaisenergiaa
4,0	25 %	75 %
3,9	26 %	74 %
3,8	26 %	74 %
3,7	27 %	73 %
3,6	28 %	72 %
3,5	29 %	71 %
3,4	29 %	71 %
3,3	30 %	70 %
3,2	31 %	69 %
3,1	32 %	68 %
3,0	33 %	67 %
2,9	34 %	66 %
2,8	36 %	64 %
2,7	37 %	63 %
2,6	38 %	62 %
2,5	40 %	60 %
2,4	42 %	58 %
2,3	43 %	57 %
2,2	45 %	55 %
2,1	48 %	52 %
2,0	50 %	50 %

## 12. Johtopäätökset

Tavoitteena tässä työssä oli selvittää maalämmitysjärjestelmän ja aurinkojärjestelmien toimintaperiaatteita ja suunnittelua. Kohteena oli Levi Test - house oppimisympäristö, joka on rakenteilla. Kohteen on tarkoitus valmistua ensi vuonna. Kohteessa tullaan käyttämään työn mukaisia järjestelmiä lämmityksessä ja sähkön tuotossa. Tässä työssä lasketut laskelmat ovat vain suuntaa antavia, ja näistä saadaan yleiskäsitys laitteiston kokoluokasta.

Aurinkolämmityslaitteisto mitoitettiin kahden valmistajan antamilla kaavoilla. Kaavat olivat melko kattavia ja niiden perusteella saa selville järjestelmien kokoluokat ja niiden kautta voi tarvittaessa arvioida kustannuksia. Mielestäni Viesmannin mitoitusohjeista saa luotettavamman tuloksen. Toki on otettava huomioon, että käytössäni ei ollut täysin kattavia mitoitusohjeita Roth Solar:lta vaan kaavat olivat enemmän suuntaa antavia. Kummankin valmistajan mitoitusohjeet oli tarkoitettu omakotitaloihin. Koska kohteena oleva kiinteistö ( $600 \text{ m}^2$ ) on normaalia omakotitaloa noin kolme kertaa suurempi, eivät laskelmat välttämättä ole täysin luotettavia.

Näiden kahden valmistajan mitoitusohjeiden kautta saaduissa tuloksissa oli, jonkin verran ristiriitoja. Suurin ristiriita oli virtausmäärissä. Roth Solarin laskentaohjeilla sain virtausmääräksi  $295 \text{ l/h}$ , kun taas Viesmannin ohjeilla sain vastaavaksi luvuksi  $800 \text{ l/h}$ . Laitteisto oli kummassakin tapauksessa samankaltainen Roth Solarin kaavoissa virtaama otetaan suoraan kuvaajasta aurinkokeräimien painehäviön perusteella. Viesmannin ohjeissa virtaama lasketaan tietyllä virtausarvolla aurinkokeräimen yhtä neliometriä kohden. Valmistajilla on erilaiset mitoitusarvot, mutta mielestäni tässä on liian suuri ero kahden valmistajan välillä.

Painehäviöiden tuloksissa oli myös eroavaisuuksia. Viesmannin painehäviö oli melkein kolminkertainen. Tämä selittyy erilaisilla painehäviöillä putkimetriä kohden. Luottaisin kuitenkin tässäkin tapauksessa Viesmannin arvoihin. Laskentamenetelmät olivat mielestäni paljon kattavammat ja tarkemmat ja tällöin päästää tarkempaan lopputulokseenkin. Yhdistelemällä näiden kahden valmistajan mitoitusarvoja ja tuloksia saadaan melko kattavat arvot koko järjestelmälle.

Tietääkseni aurinkolämmityslaitteiston toimittajaa ei kohteeseen ole valittu. Valmistajilla on erilaiset mitoitusperusteet ja suunnitteluohjelmat, joiden avulla laitteisto mitoitetaan. Tästä johtuen eri valmistajien arvoissa voi jonkin verran olla eroavaisuuksia. Työssä lasketuista arvoista voi arvioida laitteiston kokoluokkaa ja kun kohteeseen asennetaan laitteisto voi tämän työn arvoja verrata valmiiseen laitteistoon.

Suurin työ oli mielestäni maalämpöpumpun mitoittaminen kohteeseen. Kohteen käyttö ei ole kokoaikaista ja henkilömäärä ei ole vakio vaan kohteessa on usein eri määrä ihmisiä. Kuitenkin maalämpöpumppu täytyy mitoittaa suurimmalle mahdolliselle henkilömäärälle ja käyttöajalle. Aurinkopaneeleista saatavaa energiamäärää ei voi vähentää lämpöpumpun mitoitus-tehosta vaan maalämpöpumppu on mitoitettava koko energiantarpeelle. Kohde sijaitsee Pohjois-Suomessa, jossa aurinkoa ei saada läheskään koko aikaa vuodesta. Kylmimpinä ja pimeimpinä talvikuukausia aurinkoenergian määrä on nolla. Tällöin tarvitaan myös suurin lämmitysteho.

Maalämpöpumpun suunnittelussa käytetyt kaavat olen ottanut Antero Aittomäen tekemästä oppaasta (pientalon lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluperusteet). Opas on tehty vuonna 1996. Maalämpökaivon suunnitteluperusteet löytyivät Suomen lämpöpumppuyhdistyksen sivuilta. Suunnitteluohjeet olivat kokonaisvaltaiset ja niissä otettiin huomioon kaikki lämmitykseen vaikuttavat osatekijät, kuten ihmisten ympäristöön tuoma lämpöenergia. Mitoitusohjeilla päästiin mielestäni tarkkaan lopputulokseen.

Maalämpöpumpun mitoitusohjeiden mukaisesti laskiessa arvoja sain rakennuksen lämpöenergian kulutukseksi vuodessa 184 000 kWh. Maalämpöpumpun tehoksi tulee tällöin 16 kW. Nämä arvot vastaavat kokoluokaltaan melko hyvin kiinteistön kokoa. Maalämpöpumpun teho on lähes kaksinkertainen verrattuna omakotitalo kokoluokan maalämpöpumppuun. Mielestäni 16 kW tehoisen maalämpöpumpun pitäisi riittää lämmittämään kiinteistö. Kiinteistö on mitoitettu 50 henkilölle. Kuitenkaan kiinteistössä ei aina ole näin suurta henkilömäärää, jolloin maalämpöpumppu ei käy täydellä teholla.

Kiinteistöön maalämpöpumppua valittaessa onkin otettava huomioon sen säädettävyyden energiatehokkuutta menettämättä.

Maalämpökaivojen yhteissyvyys on 1100 metriä, joka vastaa kuutta lämpökaivoa. Mitoitus tässäkin vain suuntaa antava. Maalämpökaivosta saatava lämpöenergia riippuu paljon maaperästä ja kaivon tehollisesta syvyydestä. Porakaivoa porattaessa porauksen suorittava yritys poraa kaivoja sen verran kuin on tarpeen, että saadaan tarpeeksi lämpöenergiaa kaivoista vuodessa. Käytännössä tämä syvyys selviää vasta kun ollaan poraamassa kaivoja ja saadaan tarkempaa tietoa olosuhteista ja maaperästä. Suurin asia mikä vaikuttaa porakaivojen määrään ja syvyyteen on se, kuinka paljon vettä kaivoon tulee. Se syvyys mikä on veden peitossa ympäri vuoden lasketaan lämpökaivon teholliseksi syvyydeksi.

### 13.      **Lähteet:**

- Bruno Erat, V. E. (2008). *Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin*. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry.
- Dietrich, D. (22. 03 2006). *Aurinkolämmitys* . De Dietrich.
- Engineering, G. S. (01. 03 2011). Noudettu osoitteesta <http://www.gsesweden.com>
- Ilari Aho, J. A.-M. (1996). *Pientalon lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluohjeet*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Kara, M. (2004). *Energia Suomessa: tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset*. Helsinki, Espoo: Edita.
- Kotavuopio Risto, Mustonen Antti, Tuuliainen Ismo. (2008). *Projekti 1, Aurinkoenergia*. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Kurth, A. (2002). Opinnäytetyö. *Lämpöpumppujen perusteet - Ohjeet LVI-asentajille* . Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- Lasse Sundell, K. K. (1981). *Energiavaihtoehdot, aurinko, tuuli, maalämpö*. Jyväskylä: K.J Gummerus.
- Lämpöässä. (ei pvm). *Käyttöohje V-malli - esite* .
- Rakennustieto Oy:. (2007). *Rakennusten lämmitysjärjestelmät*. Tampere: Tammer-paino Oy.
- Solar, R. (2010). *Roth Solar - järjestelmä* . Roth Solar.
- Stephen P. Kavanaugh, K. R. (1997). *Ground-Source Heat pumps*. ASHRAE.
- Sulpu ry. (ei pvm). *Suomen lämpöpumppuyhdistys*. Haettu 15. 01 2011 osoitteesta <http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu.pdf>
- Sulpu ry.:Koivula, Petri . (12. 11 2010). *Lämpöpumput suomalaisessa energiakirjossa*. Rovaniemi.
- Suomen kiinteistölehti nro 10*. (2008).
- Suthpin, S. (1994). *Heat pumps. Installation and Troubleshooting*. The Fairmont Press, Inc.
- Thermia partners Oy. (2010). *Suuri lämpöpumppukirja*. Thermia.
- Valtion ympäristöhallinto. (ei pvm). *Kattolumikuorma*. Haettu 01. 02 2011 osoitteesta <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/kattolumikuorma.html>
- Viesmann Oy. (5 2004). *Viessmann suunnitteluohjeet* .
- Viessmann Oy, Koivisto, Arto . (12. 11 2010). *Aurinko ei lähetä laskuja*. Rovaniemi.
- Viessmann Oy: Viessmann Oy. (2010). *Energy from the sun - esite* . Viessmann Oy.

- Ympäristöministeriö. (ei pvm). *Suomen rakentamismääräyskokoelma C3, Rakennusten lämmöneristys (2010)*. Noudettu osoitteesta  
[http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010-suomi\\_221208.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010-suomi_221208.pdf)
- Ympäristöministeriö. (ei pvm). *Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 - lämmöneristys (2003)*. Noudettu osoitteesta  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=372161&lan=FI#a3>

## **15. LIITTEET**

Liiteluettelo:

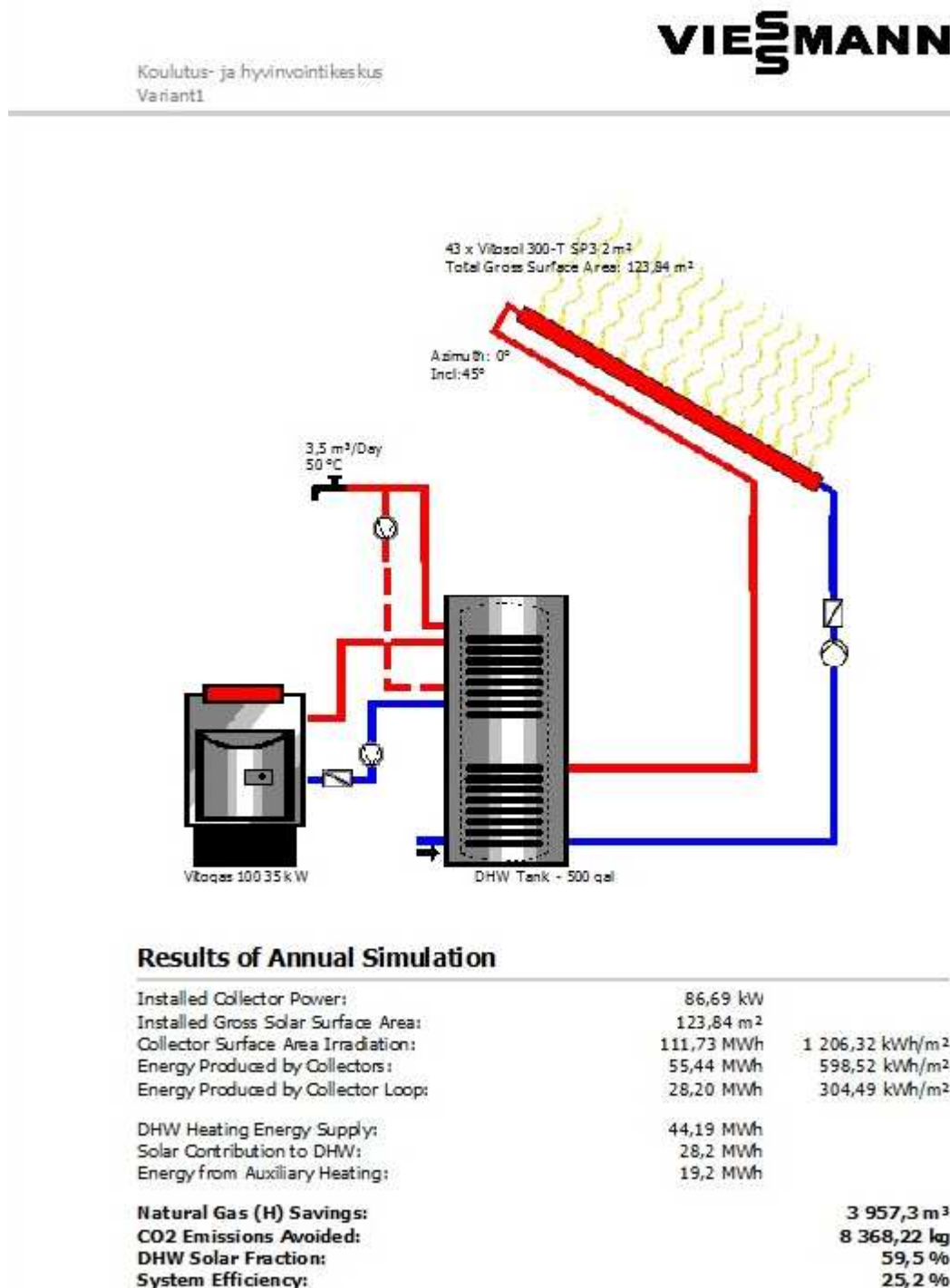
<b>LIITE 1. Koulutus ja hyvinvointikeskuksen pohjakuva (P-kerros).....</b>	<b>64</b>
<b>LIITE 2. Koulutus- ja hyvinvointikeskuksen pohjakuva (1.kerros).....</b>	<b>65</b>
<b>LIITE 3. Viessmann ESOP NA ohjelman tulokset.....</b>	<b>66</b>
<b>LIITE 4. Viessmann ESOP NA ohjelman tulokset.....</b>	<b>67</b>







## LIITE 3. Viessmann ESOP NA ohjelman tulokset



## LIITE 4. Viessmann ESOP NA ohjelman tulokset



Koulutus- ja hyvinvointikeskus  
Variant1

## Basic Data

### Climate File

Location:	Würzburg
Climate Data Record:	"Würzburg"
Total Annual Global Radiation:	1091,31 kWh
Latitude:	49,77 °
Longitude:	-9,97 °

### Domestic Hot Water

Average Daily Consumption:	3,5 m³
Desired Temperature:	50 °C
Load Profile:	Multiple Dwelling
Cold Water Temperature:	February:8 °C / August:12 °C
Days without Consumption:	90

## System Components

### Collector Loop

Manufacturer:	Viessmann
Type:	Vitosol 300-T SP3 2 m²
Number:	43,00
Total Gross Surface Area:	123,84 m²
Total Active Solar Surface Area:	92,62 m²
Tilt Angle:	45 °
Azimuth:	0 °

### DHW Tank with Two Heating Coils

Manufacturer:	ESOP database
Type:	DHW Tank - 500 gal
Volume:	1892,65 l

### Auxiliary Heating

Manufacturer:	Viessmann
Type:	Vitogas 100 35 kW
Nominal Output:	35 kW